

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

WERKGROEP NOORD-HOLLAND XXIV

WATERBALANSEN OPPERVLAKTE- EN GRONDWATER VOOR EEN
AANTAL POLDERS IN NOORD-HOLLAND BENOORDEN HET IJ

A.H. Ryhiner en ing. K.E. Wit

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-middelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

I N H O U D

	Blz.
1. INLEIDING	1
2. WATERBALANS GRONDWATER	2
2.1. Opzet	2
2.2. Uitvoering	2
2.3. Resultaten	6
3. WATERBALANS OPPERVLAKTEWATER	7
3.1. Opzet	7
3.2. Uitvoering	7
3.3. Resultaten	16
4. SAMENVATTING	22
LITERATUUR	24
BIJLAGEN	

1. INLEIDING

Het opstellen van waterbalansen is in het algemeen gericht op het verkrijgen van meer inzicht in de onderlinge termen van een waterhuishoudkundig systeem. Daarnaast kan het doorrekenen van waterbalansen belangrijke informatie verschaffen omtrent een onbekende restterm; veelal wordt hiervoor de intensiteit van kwel dan wel infiltratie voorgenomen.

Bij het opstellen van waterbalansen voor zowel oppervlakte- als grondwater (semi-spanningswater) en die betrekking hebben op identieke gebieden kunnen gemeenschappelijke termen voorkomen. Deze termen geven kwantitatieve interacties aan tussen beide balanssystemen, zo is de term kwel in de balans voor het grondwater (negatief) absoluut gelijk aan de term kwel in de balans voor het oppervlaktewater (positief).

Het naast elkaar toepassen van bovengenoemde balanssystemen in het kader van een uitgevoerd geo-hydrologisch onderzoek in Noord-Holland was een van de uitgangspunten bij het onderhavige onderzoek. Vanwege de diepe ligging van de hydrologische basis, globaal 300 tot 400 m-NAP (BREEUWER en JELGERSMA, 1979); POMPER, 1979) was het praktisch niet uitvoerbaar om door middel van pompproeven de sporadisch aanwezige gegevens betreffende het totale doorlatend vermogen van de watervoerende lagen aan te vullen. Er is derhalve gekozen voor het zo nauwkeurig mogelijk opstellen van waterbalansen voor een aantal polders, verspreid over het onderzoeksgebied, om hieruit via gemeenschappelijke termen uit waterbalansen voor het grondwater gegevens af te leiden voor het doorlatend vermogen van vooral de dieper gelegen watervoerende lagen.

Uitvoering van een zevental luchtliftboringen, variërende in

diepte van 200 tot 400, hetgeen oorspronkelijk niet in het onderzoeksprogramma was opgenomen, heeft het mogelijk gemaakt een globale kaart samen te stellen met kD-waarden van de meest diepe watervoerende laag (POMPER, 1979). Laatstgenoemde kaart heeft geleid tot een gewijzigde toepassing van de hier beschouwde balanssystemen. Er heeft een ont-koppeling plaatsgevonden ofwel beide systemen zijn afzonderlijk naast elkaar toegepast.

In deze nota zal worden ingegaan op de toepaste balanssystemen en de hiermee verkregen resultaten.

2. WATERBALANS GRONDWATER

2.1. O p z e t

In fig. 1 is een geohydrologisch schema weergegeven, dat een globale afspiegeling is van de ondergrond van Noord-Holland. In het gedeelte van bovengenoemd schema, begrensd door het afdekkend pakket en de hydrologische basis vindt een overwiegend horizontale grondwaterstroming plaats. Tengevolge van grondwateronttrekkingen, het voorkomen van gasbronnen, verticale opstijging van water in het afdekkend pakket in kwelgebieden en verticale wegzijging in infiltratiegebieden treden stromingsveranderingen op. Door bepaling van deze stromingsveranderingen, inventarisatie van grondwateronttrekkingen en debieten van gasbronnen en vervolgens invoering van alle gegevens in een waterbalansmodel kunnen gegevens over de netto kwel, het verschil tussen kwel en wegzijging, worden verkregen.

2.2. U i t v o e r i n g

Voor een aantal geselecteerde polders, op grond van beschikbare gegevens voor waterbalansen oppervlaktewater (fig. 2) is de volgende waterbalans voor de ondergrond opgesteld:

$$Q_i - Q_u = Q_v + \text{IND.} + G + 10 \cdot F \cdot \frac{\Delta h_t}{t} \cdot S \quad (1)$$

waarin: Q_i = stroming door de ondergrond naar beschouwd gebied in m^3/dag
 Q_u = stroming door de ondergrond uit beschouwd gebied in m^3/dag
 Q_v = netto kwel in beschouwd gebied in m^3/dag
 IND = wateronttrekking aan de ondergrond in m^3/dag
 G = debiet van gasbronnen in m^3/dag
 F = oppervlakte beschouwd gebied in ha
 Δh_t = gemiddelde verandering van de stijghoogte van het 'diepe' grondwater in periode t in m
 t = periode in dagen
 S = uitleveringsfactor

Algemene oplossing van (1) verloopt als volgt:

- bepaling van de termen $Q_i - Q_u$ uit isohypsen- en kD-waardenkaarten
- substitutie term IND
- substitutie term G
- bepaling laatste term rechter lid (bergingsverandering)
- restterm Q_v geeft netto kwel

Als voorbeeld van praktische toepassing van (1) is de Schermer gekozen.

- Bepaling term $Q_i - Q_u$

Uit het geohydrologisch profiel in fig. 1 volgt dat er drie watervoerende lagen zijn te onderscheiden. Voor elke watervoerende laag is op de poldergrens de intensiteit van de grondwaterstroming bepaald uit de gradiënt van de stijghoogte van het grondwater en de kD-waarde volgens:

$$q = kD \frac{dh}{dx} \quad (2)$$

Wordt langs de grens van de polder de strook tussen twee opeenvolgende equipotentiaallijnen opgedeeld in vierkantjes, dan geldt bij toepassing van (2) voor elk vierkantje (WIT, 1974):

$$Q = B \cdot kD \frac{\Delta h}{x} \quad (3)$$

waarin: Q = stroming voor elk vierkantje in m^3/dag
 B = breedte vierkantje in m
 kD = doorlatend vermogen ter plaatse van het vierkantje in m^2/dag
 x = lengte vierkantje in m
 Δh = interval tussen beschouwde equipotentiaallijnen in m

Daar $B = x$, kan (3) worden vereenvoudigd tot:

$$Q = kD \cdot \Delta h \quad (4)$$

In de fig. 3 tot en met 5 zijn de kD -waarden weergegeven voor respectievelijk de 1e, 2e en 3e watervoerende laag (POMPER, 1979). In de fig. 6 tot en met 8 is het verloop van de equipotentiaallijnen aangegeven, ontleend aan de isohypsenkaarten over de zomerperiode van 1978 (WIJNSMA, WIT en VAN REES VELLINGA, 1981). Op de grens van de polder zijn tussen twee opeenvolgende equipotentiaallijnen vierkantjes ingetekend.

Door toepassing van (4) voor elk vierkantje wordt fig. 9 verkregen waarin de aan- en afstroming voor een aantal stroken voor de 1e, 2e en 3e watervoerende laag is aangegeven. Voor de totale ondergrondse toestroming $Q_i - Q_u$ wordt $17\,168\,m^3/dag$ berekend.

- De term IND

De grondwateronttrekking IND bedraagt $1098\,m^3/dag$ (JANSEN, WIJNSMA, 1981).

- De term G

Het totaal debiet van de gasbronnen ten bedrage van $1975\,m^3/dag$ is ontleend aan nota nr 1061 (TOUSSAINT en BOOGAARD, 1978).

- De term bergingsverandering

Voor een aantal peilfilters, verspreid over het onderzoeksgebied is voor het zomerhalfjaar 1978 voor Δh_t een waarde van $-0,10$; $-0,06$ en $-0,07\,m$ bepaald voor de 1e, 2e en 3e watervoerende laag. Bij een waarde $2,0 \times 10^{-4}$ voor S wordt de laatste term per oppervlakte-eenheid $8,7 \times 10^{-5}\,mm/dag$. De nauwkeurigheid van de overige termen in ogenschouw genomen rechtvaardigt het feit om de bergingsverandering te verwaarlozen.

- De restterm Q_v

Na substitutie van de bekende termen in (1) volgt voor de restterm $14\,095\text{ m}^3/\text{dag}$. Uit de drukverschillenkaart tussen freatisch water en de stijghoogte van het grondwater in de 1e watervoerende laag (WIJNSMA, WIT en VAN REES VELLINGA, 1981) blijkt dat, uitgezonderd een gebiedje van enkele tientallen ha in het centrum van de polder, de Schermer in zijn geheel een potentiële kwelpolder is. In dit licht bezien kan dan ook worden gesteld dat de restterm praktisch geheel uit kwel bestaat.

De oppervlakte van de Schermer bedraagt 4771 ha ; de kwel van $14\,095\text{ m}^3/\text{dag}$ komt zodoende neer op: $0,3\text{ mm}/\text{dag}$ of $108\text{ mm}/\text{jaar}$.

Vergelijking van de gevonden waarde van $108\text{ mm}/\text{jaar}$ met de bepaalde kwel uit de waterbalans voor oppervlaktewater: $100,3\text{ mm}/\text{jaar}$. (Tabel 8) geeft een redelijke overeenkomst aan tussen beide balanssystemen. Voor een aantal polders werden echter belangrijke afwijkingen geconstateerd die groter zijn dan $25\text{ mm}/\text{jaar}$, zoals uit onderstaande tabel blijkt.

Tabel 1. Afwijking tussen beide balanssystemen

PLD/WS	K waterbalans mm.j^{-1}	K geohydr. mm.j^{-1}	Afwijking mm.j^{-1}
Beetskoog	+ 39,8	- 16,4	56,2
Geestmerambacht	+ 80,7	- 2,0(+ 7,3)	82,7
Oostzaan incl. Twiske	-212,3	- 49,9	162,4
Slikvenpolder	-169,3	- 10,5(-52,6)	158,8
Anna Paulownapolder	+ 74,9	0 (+36,8)	74,9
Drieban	-101,2	+ 19,3	120,5
Wieringerwaard	+ 56,3	- 19,3(+22,1)	37,0
Wieringermeer	+421,6	+271,3(412,6)	150,3

Een eerste beoordeling van de in tabel 1 genoemde polders was gericht op de positieve of negatieve waarde van de kwel, volgende

uit de drukverschillenkaart tussen freatisch water en de stijghoogte van het grondwater in de 1e watervoerende laag (WIJNSMA, WIT en VAN REES VELLINGA, 1980), hierna heeft een heroriëntatie plaatsgevonden van de in beide balanssystemen ingevoerde termen waarbij onder meer de volgende disciplines werden betrokken:

- kwalitatieve interacties oppervlakte-grondwater (WITT, 1980)
hoge waarden voor infiltratie, kwel manifesteren zich veelal respectievelijk als het voorkomen van een zoet waterzak of een optrekken van het zoutfront
- samenstelling afdekkend pakket (DE MULDER, 1979)
- detail waterbalansen in polders (PANKOW, 1980)
- verticale weerstand van het afdekkend pakket (WIJNSMA, 1979)

De aangepaste waarden voor de kwel geohydr. zijn tussen haakjes aangegeven in tabel 1.

2.3. R e s u l t a t e n

De in 2.1 gegeven praktische toepassing van (1) alsmede de iteratieve procedure voor die polders waarvoor de afwijking tussen de resttermen van beide balanssystemen groter was dan 25 mm/jaar heeft ten aanzien van de termen in (1) de volgende resultaten opgeleverd:

- in fig. 10 is de ondergrondse toestroming dan wel afstroming weergegeven Q_i ; Q_u
- in fig. 11 is de term $Q_i - Q_u$ opgesplitst in de termen Q_v ; IND en G

De term Q_v betreft de netto kwel; in tabel 2 is het resultaat van het geohydrologisch onderzoek samengevat.

Tabel 2. Kwelwaarden afgeleid uit het geohydrologisch onderzoek

PLD/WS	K mm.j ⁻¹	PLD/WS	K mm.j ⁻¹
Beetskoog	- 16,4	Anna Palowna	+ 36,8
Geestmerambacht	+ 7,3	Drieban	+ 19,3
Oostzaan incl. Twiske	- 49,9	Het Grootslag	+ 36,1
Purmer	+ 98,2	Oosterpolder	- 9,8
Heerhugowaard incl. Veenhuizen	+ 47,4	Baarsdorpermeer	+115,1
Schermer	+107,7	Wieringerwaard	+ 22,1
Slikvenpolder	- 52,6	Wieringermeer	+412,6
Wijde Wormer	+130,7	Waterland	+ 6,9

3. WATERBALANS OPPERVLAKTEWATER

3.1. O p z e t

Via het geohydrologisch onderzoek kunnen kwel en wegzijging afzonderlijk rechtstreeks worden bepaald. Deze grondwatertransporten vormen veelal de sluitposten op de waterbalans. Dit houdt in dat slechts de netto kwel, het verschil tussen kwel en wegzijging kan worden gekwantificeerd. Het lijkt daarom van groot belang de studie van de waterbalansen parallel te laten lopen met het geohydrologisch onderzoek zodat enerzijds de uitkomsten van beide bepalingsmethodieken met elkaar kunnen worden vergeleken, anderzijds is hiermede een basis verkregen voor berekening van de nauwkeurigheid waarmee de kwel kan worden bepaald.

3.2. U i t v o e r i n g

Het totale wateroppervlak van het vasteland benoorden het Noordzeekanaal bedraagt 11 605 ha, waarvan 3100 ha uit boezemwater bestaat (COMMISSIE WATERVOORZIENING BENOORDEN HET NOORDZEEKANAAL, 1977). In tijden van watertekort ontvangt het polderwater het benodigde water vanuit de boezem. Daarnaast dragen neerslag, lozingen van huishoudelijk en industrieel afvalwater, gasbronnen en grondwaterstroming (kwel) bij tot de wateraanvoer. Water wordt afgevoerd via gemalen, via verdamping en grondwatertransport (wegzijging). Met deze grootheden is tevens de waterbalans van de polder gekarakteriseerd. De gebruikelijke formulering voor het in evenwicht brengen van de waterbalans luidt:

$$N + I + K + HAW + IND + G = A + Ep + \Delta B \quad \text{mm.j}^{-1} \quad (5)$$

waarin: N = neerslag

I = ingelaten water

HAW = huishoudelijk en recreatief afvalwater

K = kwel

IND = industrieel afvalwater inclusief koelwater

G = gasbronnen

- A = uitgemaal en water
 Ep = potentiële verdamping
 ΔB = bergingsverandering

De balansperioden zijn gerekend te lopen van april tot en met maart. Op grond van deze keuze kan worden gesteld dat de bergingsverandering $\Delta B = 0$, omdat dan de bodem weer op veldcapaciteit is en de grondwaterstand op de uitgangssituatie is teruggekeerd.

Er staan twee wegen open om de onbekende kwel in de waterbalans op te lossen; namelijk uit de waterbalans op jaarbasis aan de hand van de volgende formule:

$$K = A + E_p - (N + I + HAW + IND + G) \quad (6)$$

Indien beschikt kan worden over een reeks van afvoercijfers dan kan de waterbalans in de volgende vorm worden beschreven:

$$N - E_p = A - (K + I + HAW + IND + G) \quad (7)$$

waarmee de samenhang tussen het neerslagoverschot ($N - E_p$) en de door de gemalen geloosde hoeveelheden water (A) door een rechte worden weergegeven met richtingstangent = 1, terwijl het snijpunt met x-as de waarde geeft van $(K + I + HAW + IND + G)$. Aangezien de bijdrage van de andere termen, met name de inlaat en de lozingen van huishoudelijk en industrieel afvalwater en de gasbronnen uit inventarisatie bekend is of te berekenen is volgt hieruit de grootte van de kwel.

Aan de hand van de op de balans vermelde posten zal in onderstaande in het kort worden aangegeven op welke wijze in het kader van dit onderzoek de diverse benodigde kwantiteitsgegevens worden verzameld.

3.2.1. Inlaat

De hoeveelheid ingelaten water is niet voor alle polders bekend. Daarom werd een aantal polders geselecteerd, waarvan een registratie heeft plaatsgevonden van de gebruikte schuifstanden van de inlaatduikers. Bovendien worden van deze polders gegevens verzameld betreffende de constructie van de inlaatwerken zoals diameter, vorm en buismateriaal en in voorkomende gevallen werd door middel van waterpassing het drukverschil tussen boezem- en polderwater gemeten. Aan de hand

van ijkmetingen met onder andere OTT-Flügel apparatuur werden de inlaatdebieten bij verschillende schuifstanden vastgesteld (HUMBERT e.a., 1980; MEIJER, 1980). De hoeveelheden water die in het tijdvak van 1-4-1977 - 1-4-1978 werden ingelaten, worden berekend uit gegevens betreffende de afmetingen van de inlaatbuis, het peilverschil tussen boezem- en polderwater en de tijdsduur gedurende welke is ingelaten (HUMBERT e.a., 1980). Een overzicht van de waterstaatkundige eenheden waarvan de gegevens op bovenvermelde wijze zijn verzameld, wordt in onderstaande tabel gegeven. Bovendien zijn daarin opgenomen de door DE WILDE (1980) bepaalde belastbare oppervlakten en de oppervlakte van het open water die is ontleend aan de COMMISSIE VAN DE WATERVOORZIENING BENOORDEN HET NOORDZEEKANAAL (1977).

Tabel 3. Waterschappen waarvan de ingelaten hoeveelheden zijn berekend volgens HUMBERT e.a. over de periode van 1-4-1977 - 1-10-1978

PLD/WS	Belastbare oppervlakte ha	Oppervlakte waterberging ha
Beetskoog	642	31
Geestmerambacht	6744	480
Heerhugowaard incl. Veenhuizen	4191	164
Oostzaan incl. het Twiske en 24 ha Waterland	2987	550
De Purmer	2760	152
Schermeer	4771	250
Slikvenpolder	297	12
Wijde Wormer	1632	100

Tevens werd een aantal waterschappen in beschouwing genomen waarvan de ingelaten hoeveelheden water over een langere periode bekend zijn en die door de waterschappen zelf werden bepaald (DE WILDE, 1980). Dit geldt voor:

Tabel 4. Waterschappen waarvan de ingelaten hoeveelheden door de waterschappen zelf zijn bepaald

Waterschap	Belastbare oppervlakte ha	Oppervlakte waterberging ha
Anna Paulowna Polder	5 032	257
De Drieban	2 425	48
Polder Het Grootslag	8 770	426
Baarsdorpermeer	210	21
Waterland exclusief 24 ha dat afwatert op de Schermerboezem	10 119	1170
Wieringermeer	19 947	375
Wieringerwaard omvattende	3 422	
Waard- en Groetpolder		82
Oosterpolder	1 880	89

De inlaathoeveelheden in mm.j^{-1} worden in tabel 6 gegeven.

3.2.2. Afvoer

De door de gemalen in de boezem geloosde hoeveelheden water zijn door DE WILDE (1980) voor vrijwel alle polders of maalgieden berekend voor het zomer- en winterhalfjaar voor de jaren 1966 tot en met 1978, waarbij gebruik werd gemaakt van de door de machinisten geregistreeerde maaluren en de gemiddelde pompcapaciteit die overeenkomt met de voor die periode geldende polderpeil. Hierbij is uitgegaan van de meest recent uitgevoerde capaciteitsmetingen zodat opgetreden wijzigingen, zoals beschadigingen aan de pomp en slijtageverschijnselen in de berekeningen zijn verdisconteerd. De berekende afvoer kan in bepaalde gevallen te hoog uitvallen doordat met name bij de automatische gemalen geen regelmatige controle heeft plaatsgevonden van de aanzuigtoestand. Door opeenhopingen van meegevoerd kroos of drijvend afval kan de weerstand in de zuigleiding worden verhoogd waardoor de pompcapaciteit sterk wordt gereduceerd. Indien geen maalstaten aanwezig zijn worden de maaluren afgeleid uit het stroomgebruik van het

poldergemaal. Hierdoor kunnen extra onnauwkeurigheden ontstaan doordat het stroomvergebruik sterk afhankelijk is van het aantal malen dat de pomp aanslaat en in de aanlooperperiode het energieverbruik erg hoog is, de berekende jaarafvoeren uitgedrukt in mm zijn vermeld in bijlage 1.

3.2.3. Meteorologische gegevens

De neerslag die in de waterbalans wordt ingevoerd, is het gemiddelde van de nabij de waterschappen gelegen neerslagstations van het KNMI (fig. 12). Gezien het uitgebreide net van regenwaarnemingsstations kan de gemiddelde jaarsom van de neerslag, uitgedrukt in mm per waterschap, vrij nauwkeurig worden bepaald. De onderzoeksjaren worden gekenmerkt door grote verschillen in neerslag. De gemiddelde neerslag loopt uiteen van 537 mm.j^{-1} tot 892 mm.j^{-1} zoals uit bijlage 2 blijkt, waarin tevens is aangegeven van welk(e) neerslagstation(s) gebruik wordt gemaakt voor de bepaling van de neerslag voor de onderscheiden waterschappen.

Voor de berekening van de potentiële verdamping wordt gebruik gemaakt van de maandsommen van de open waterverdamping, zoals die door het KNMI voor de hoofdstations De Kooy en Hoorn voor de periode van 1 april tot en met maart zijn berekend. Door toepassing van omrekeningsfactoren, die onder meer afhankelijk zijn van de begroeiing en de heersende fysische omstandigheden in de bodem en de atmosfeer, kan de potentiële verdamping worden berekend uit het aandeel van het bodemgebruik en de verdamping behorende bij dat bodemgebruik. De gegevens over het bodemgebruik van de in de studie betrokken waterschappen worden, voor zover aanwezig, ontleend aan de rapporten van de Technische Dienst van het Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en West-Friesland en voor een deel afgeleid uit het rapport van de COMMISSIE WATERVOORZIENING BENOORDEN HET NOORDZEEKANAAL (1977), tabel 5.

Uit tabel 5 blijkt dat het studiegebied voor een belangrijk deel in gebruik is voor landbouwkundige doeleinden en dat gemiddeld ca. 6,5% door water wordt ingenomen. Het urbaangebied waaronder verharde oppervlakten, is bij de berekening buiten beschouwing gelaten in de veronderstelling dat deze verwaarloosbaar klein is en weinig invloed heeft op de totale verdamping.

Tabel 5. Het bodemgebruik uitgedrukt in procenten van de totale oppervlakte van de onderscheiden waterschappen

Waterschap	Open water	Grasland	Akkerbouw	Tuinbouw vollegrond	Braakland
Beetskoog	5	95	-	-	-
Geestmerambacht	7	48	18	27	-
Oostzaan	24	75	-	1	-
Purmer	6	94	-	-	-
Heerhugowaard	4	68	28	-	-
Schermeer	5	67	28	-	-
Slikvenpolder	4	79	9	8	-
Wijde Wormer	6	94	-	-	-
Anna Paulowna polder	5	8	50	35	2
De Drieban	2	39	50	9	-
Het Grootslag	5	62	30	3	-
Oosterpolder	5	59	18	18	-
Baarsdorpermeer	10	90	-	-	-
Wieringerwaard	2	52	44	2	-
Wieringermeer	2	23	69	6	-
Waterland	12	88	-	-	-

De voor deze berekening gebruikte omrekeningsfactoren zijn gegeven in tabel 6.

Tabel 6. Overzicht van de omrekeningsfactoren voor de berekening van de potentiële verdamping, in afhankelijkheid van het bodemgebruik in de maand van het jaar

Omschrijving bodemgebruik	Omrekenings- factor
Graslanden	september t/m april 0,7
	mei t/m augustus 0,8
bouwland beteeld	april 0,5
met aardappelen,	mei 0,5
bieten en vollegronds-	juni 0,8
tuinbouw	juli 0,9
	augustus 0,8
	september 0,7
Kale grond	0,5

De potentiële verdamping (E_p) voor een bepaald bodemgebruik wordt berekend door de maandsommen van de open waterverdamping (E_o) te vermenigvuldigen met de in tabel 4 gegeven omrekeningsfactoren en de verdamping voor de gehele polder wordt berekend volgens:

$$E_p = \frac{a}{100} E_o + \frac{b}{100} E_{\text{grasl.}} + \frac{c}{100} E_{\text{bouwland}} + \frac{d}{100} E_{\text{braakl.}} \quad (8)$$

waarin a, b, c en d respectievelijk de percentagēs zijn voor de oppervlakte open water, grasland, akker- en tuinbouw vollegrond inclusief bollenteelt en braakland. De waarde van de verdamping per waterschap is gegeven in bijlage 3 voor de jaren 1968 tot en met 1979, terwijl in bijlage 4 de neerslagoverschotten zijn vermeld voor de overeenkomstige jaren in de onderscheiden waterschappen.

In de droge zomers van 1971, 1975 en 1976 kan als gevolg van vochttekorten de verdamping minder zijn dan de berekende potentiële verdamping zodat voor de jaren 1971/'72, 1975/'76 en 1976/'77 het berekende neerslagoverschot enigszins kan afwijken van de werkelijke waarden.

3.2.4. Huishoudelijk, recreatief en industrieel afvalwater

Voor de berekening van de bijdrage van het huishoudelijk, recreatief en industrieel afvalwater aan de waterbalans werd enerzijds uitgegaan van de CBS-tellingcijfers van de bevolking der gemeenten van Nederland op 1 januari 1976, anderzijds van de door het Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en Westfriesland opgegeven equivalentwaarden voor de industrie en recreatie, die gebaseerd zijn op de door het Hoogheemraadschap opgelegde heffingen, welke werden ontleend aan de partiële bestrijdingsplannen 1 tot en met 12. De raming van het gemiddelde waterverbruik per hoofd per dag werd afgeleid uit de jaarverslagen van het PWN en kan worden gesteld op 125 l/h.d. De inwonersdichtheid per waterschap is berekend op basis van door PWS verstrekte verdeelsleutel, die aangeeft hoe de waterschappen over de gemeente in het studiegebied zijn verdeeld. In het Indiatief Meerjaren Programma (IMP) 1975-1979 is per gemeente een raming gegeven van het percentage woningen dat op het gemeentelijk rioleringsnet is aangesloten, zodat in combinatie met de partiële

bestrijdingsplannen kan worden vastgesteld welk deel van het verzamelde afvalwater via rioolgemaal of rioolzuiveringsinstallatie rechtstreeks naar het polder- of boezemwater wordt afgevoerd, terwijl uit het percentage van de niet aangesloten woningen een indicatie wordt verkregen over de omvang van de diffuse lozingen van het huishoudelijk afvalwater op het polderwater.

Uit de inventarisatie is gebleken dat ongeveer 76,1% van de woningen op het rioleringsnet zijn aangesloten en dat geconcentreerde huishoudelijke afvalwaterlozingen in het algemeen op goed doorstroombare watergangen plaats vindt: veelal de boezem. De bijdrage van het huishoudelijk en recreatief afvalwater (HAW) aan de waterbalans is, met uitzondering van de waterschappen in Westfriesland en de Wieringermeer, waar nogal vrij veel verspreide- en lintbebouwing voorkomt, gering en ligt gemiddeld in een grootte-orde van 4,7 mm per jaar (tabel 8).

Het afvoerregime van industrieel- en bedrijfsafvalwater onderscheidt zich duidelijk van afvalwater van huishoudelijke herkomst en is onder meer afhankelijk van het type industrie en de daarin aangepaste produktie-processen. Bovendien wordt in de industrie niet al het verbruikte water omgezet in afvalwater. Een gedeelte dient als koelwater dat meestal gescheiden van het proceswater in niet verontreinigende toestand direct weer naar het oppervlaktewater wordt afgevoerd.

Kwantificering van het volume geloosde industrieel afvalwater is om genoemde redenen dan ook niet zo eenvoudig. In het kader van dit onderzoek moet worden volstaan met een globale raming welke voor een deel werd afgeleid uit in het door de Waterleidingmaatschappij geleverde water aan de categorie afnemers boven 1000 m³, terwijl met betrekking tot de winning van het grondwater beschikt kan worden over vrij nauwkeurige cijfers van Provinciale Waterstaat waar op grond van de 'Verordeningen Grondwateronttrekkingen' registratie plaats vindt van hoeveelheden onttrokken grondwater per bedrijf of instelling (JANSEN en WIJNSMA, 1981). Het industrieel leidingwaterverbruik bedroeg in 1976 voor het vaste land benoorden het Noordzeekanaal 11 454 198 m³, tegen 7 333 203 m³ bronwater waarvan 4 924 556 m³ voor koeldoeleinden, met een totale vervuilingswaarde van 386 000 i.e. (opgave US), hetgeen

neerkomt op een waterverbruik van gemiddeld 130 liter per dag per industriële i.e. Deze waarde komt goed overeen met de berekende industriële wateraanvoer naar de rioolzuiveringsinstallaties Geestmerambacht en Alkmaar (tabel 7) waarop een aantal sterk uiteenlopende industrieën en instellingen zijn aangesloten. In alle gevallen van de in tabel 7 genoemde rioolzuiveringsinstallaties zijn op deze installaties aangesloten inwoners door het Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en Westfriesland opgegeven, waarbij is uitgegaan dat in 1978 per inwoner 119 liter per dag werd aangevoerd met een BZV 5 etm^{-1} van 38,2 gram per inwoner.

Voor het ruwe rioolwater na het passeren van de voorbezinking werd een waarde aangehouden van 28,2 gram BZV 5 etm^{-1} per inwoner. De BZV-waarden werden ontleend aan een door RIZA (1968) uitgevoerd onderzoek naar het verontreinigend vermogen van huishoudelijk afvalwater. De resultaten van deze berekening zijn samengevat in tabel 8.

Tabel 7. Berekende droog weer afvoeren (DWA) afgeleid uit de bedrijfsresultaten van genoemde rioolzuiveringsinstallaties in 1978

RZI	Belasting BZV 5 KG		i.e. (GEM)		Wateraanvoer $\text{m}^3.\text{etm}^{-1}$		DWA IND + bedr.l. i.e. $^{-1}$
	inw.	ind. + bedr.	inw.	ind. + bedr.	inw.	ind. + bedr.	
Geestmerambacht	28 416	22 620	60 544	26 243	8318,1	3491,1	133
Zaandam (Oost)	20 263	8 202	35 736	8 452	6545,0	1945,6	230
Beverwijk (Zaanstreek)	22 396	32 282	47 262	69 211	5819,0	6837,0	99
Alkmaar	34 943	27 349	75 199	47 754	9073,8	6375,3	134

De geringe aanvoer van industrieel afvalwater per i.e. naar de RZI Beverwijk moet enerzijds worden toegeschreven aan de waterbesparende maatregelen die in een groot aantal industrieën in de Zaanstreek zijn getroffen, anderzijds aan het beleid dat erop is gericht om lozingen van licht verontreinigend afvalwater (zoals koelwater en biologisch gezuiverd afvalwater) blijvend op de Zaan te laten plaatsvinden

in verband met de hoge kosten van transport. Voor de industrieën welke op RZI Zaandam-Oost zijn aangesloten, moet rekening worden gehouden met het feit dat vele van deze industrieën naast leiding- en grondwater tevens oppervlaktewater gebruiken. Aangezien bemetering van deze eigen winningen ontbreekt, is er geen informatie beschikbaar omtrent de omvang van het gebruik van oppervlaktewater.

3.2.5. Gasbronnen

De gegevens over de bijdrage van de gas- en koelwaterbronnen aan de waterbalans zijn voor een belangrijk deel ontleend aan de inventarisatie welke door TOUSSAINT en BOOGAARD (1978) zijn uitgevoerd, met uitzondering van het waterschap Baarsdorpermeer waar de door Toussaint en Boogaard opgegeven waarde niet in overeenstemming is met de aanzienlijke hoeveelheden water die door deze polder jaarlijks wordt uitgeslagen.

Controlemetingen, uitgevoerd in samenwerking met Provinciale Waterstaat, hebben aangetoond dat door DE WILDE (1980) gehanteerde waarde van de capaciteit van het gemaal voor berekening van de afvoer juist is. Uit debietmetingen uitgevoerd aan enkele gasbronnen bij het gemaal, is gebleken dat de waterbelasting in deze polder als gevolg van de wateropbrengst van de gasbronnen groter is dan door Toussaint en Boogaard wordt aangenomen. De gemiddelde debietintensiteit per bron bedraagt ongeveer $1,8 \text{ l.s}^{-1}$. Als bovendien ervan wordt uitgegaan dat niet alle oude bronnen zijn gedicht, dan lijkt een bijdrage van de gasbronnen van ca. $2,5 \text{ mm.etm}^{-1}$ voor de Baarsdorpermeer aanvaardbaar.

3.3. R e s u l t a t e n

In het voorgaande is reeds aangegeven welke posten op de waterbalans voorkomen en op welke wijze de balansposten worden gekwantificeerd. Tabel 8 toont de aldus opgestelde waterbalans waaruit met behulp van vergelijking 6 de kwel wordt berekend. De uitkomsten van de grafische methode, volgens vergelijking 7, zijn weergegeven in de fig. 13 tot en met 18, waarin het verband wordt gegeven tussen het neerslagoverschot ($N - E_p$) en de door de gemalen geloosde hoeveelheden

water. Door het zwaartepunt van de puntenzwerm is een rechte getrokken met hellingstangent = 1, terwijl uit het snijpunt met abscisas de waarde voor $K + I$ wordt gevonden. Om de werkelijke kwel te kennen dienen dus de ingelaten hoeveelheden water van de onderscheiden waterschappen bekend te zijn. Aangenomen wordt dat de hoeveelheid water die jaarlijks wordt ingelaten gemiddeld overeenkomt met de in tabel 8 gegeven waarden voor de inlaat. Deze aanname is gebaseerd op het onderzoek van HUMERT e.a. (1980) waaruit blijkt dat de ingelaten hoeveelheden water per polder voor de verschillende jaren redelijk met elkaar in overeenstemming zijn.

Verder dient rekening te worden gehouden met extra inlaat tengevolge van de lozing in de polder van huishoudelijk, recreatief en industrieel afvalwater en de opbrengst van de gas- en koelwaterbronnen. Ook hierbij is aangenomen dat de waterbelasting van deze posten ongeveer overeenkomt met de in tabel 8 gegeven waarden. De aldus berekende kwelwaarden worden in de laatste kolom van tabel 8 gegeven, met uitzondering van de waterschappen Geestmerambacht, Drieban en het Grootslag waar als gevolg van de uitgevoerde ruilverkavelingen ingrijpende wijzigingen hebben plaatsgevonden met betrekking tot het polderpeil en de kwel c.q. wegzijging. Voor de Baarsdorpermeer kon eveneens geen verband worden aangetoond tussen het neerslagoverschot en de afvoer omdat de afvoer waarschijnlijk te veel wordt beïnvloed door de wateropbrengst van de gasbronnen.

Het verband tussen de kwel berekend uit de waterbalans op jaarbasis en de grafisch bepaalde kwel is weergegeven in fig. 18. De bij deze punten behorende regressielijn berekend volgens de tg 2 ϕ methode, heeft de vergelijking:

$$\hat{u} = 0,982 x - 17,5 \text{ mm} \quad (9)$$

met een correlatie van $r = 0,97$ en een spreiding (S) van 38,0 mm. Aangezien de kwel als restpost is berekend geeft deze spreiding aan met welke nauwkeurigheid de balansposten zijn bepaald. De nauwkeurigheid waarmee de kwel is berekend zal dan bij benadering zijn:

$$\pm \frac{t_{0,975} \times S}{\sqrt{n}} = 24,4 \text{ mm}$$

Tabel 8. Kwel berekend uit de Waterbalans op jaarbasis en afgeleid uit K+I (grafisch)

PLD/WS	Periode	Ep mm.j ⁻¹	A mm.j ⁻¹	N mm.j ⁻¹	I mm.j ⁻¹	HAW mm.j ⁻¹	IND mm.j ⁻¹	G mm.j ⁻¹	K mm.j ⁻¹	K(graf) mm.j ⁻¹
Beetskoog	1/4'78-1/4'79	506,0	296,0	690,0	65,0	7,2	-	-	39,8	37,8
Geestmerambacht	1/4'77-1/4'78	499,0	505,0	724,0	194,4	4,9	-	-	80,7	-
Oostzaan incl. Twiske	1/4'77-1/4'78	560,0	318,0	764,0	317,5	8,8	-	-	-212,3	-121,3
Purmer	1/4'77-1/4'78	529,0	575,0	772,0	227,6	3,3	-	16,2	84,9	70,9
Hr. Hugowaard incl. Veenhuizen	1/4'77-1/4'78	504,0	620,0	746,0	379,2	3,8	-	8,2	38,1	60,1
Schermer	1/4'77-1/4'78	512,0	614,0	760,0	248,2	2,3	-	15,2	100,3	76,3
Slikkenpolder	1/4'78-1/4'79	497,0	192,0	733,0	122,5	2,8	-	-	-169,3	-143,3
Wijde Wormer	1/4'77-1/4'78	530,0	443,0	744,0	110,0	2,6	-	19,9	96,5	145,5
Anna Paulowna	1/4'77-1/4'78	461,0	381,0	683,0	77,3	3,3	-	3,5	74,9	100,9
Drieban	1/4'78-1/4'79	460,0	596,0	683,0	435,8	11,9	0,2	0,2	-75,1	-
Het Grootslag	1/4'78-1/4'79	482,0	556,0	682,0	264,7	36,7	2,1	0,9	51,6	-
Oosterpld.	1/4'71-1/4'72	554,0	110,0	550,0	67,5	31,4	25,6	1,2	-11,7	-39,4
Baarsdorpmeer	1/4'78-1/4'79	514,0	1200,0	697,0	0	9,2	-	904,2	103,6	-
Wieringerwaard	1/4'77-1/4'78	490,0	290,0	682,0	9,8	8,1	-	22,6	56,3	128,3
Wieringermeer	1/4'77-1/4'78	483,0	735,0	735,0	12,8	29,5	2,2	16,5	421,6	444,4
Waterland	1/4'76-1/4'77	641,0	395,0	594,0	237,5	97,2	-	8,1	108,1	93,2

waarin t = het precentiel van de Studentverdeling. Bij $t_{0,975}$ gebaseerd op $(n - 2) = 10$ vrijheidsgraden is t 2,228; zodat de kwelwaarden uit de waterbalans, behoudens een kleine kans van 5%, niet meer dan 24,4 mm afwijkt van het werkelijke gemiddelde binnen het beschouwde interval.

Vergelijking 9 maakt het mogelijk om bij een gegeven waarde van K graf. de bijbehorende gemiddelde waarde van de kwel te voorspellen. In tabel 9 staan de aldus berekende waarden van de kwel genoteerd als \bar{K} waterbalans, vermeld alsmede de uitkomsten van het geohydrologisch onderzoek en de onder- en bovengrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval.

Tabel 9. Kwelwaarden afgeleid uit de waterbalans en het geohydrologisch onderzoek.

Tevens worden vermeld de onder- en bovengrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval rond de verwachtingswaarde ($\hat{\mu}$) in mm.j^{-1}

PLD/WS	$\bar{K} \text{ mm.j}^{-1}$ waterbalans	$k \text{ mm.j}^{-1}$ geohydr.	ondergrens	$\hat{\mu}$	bovengrens
Beetskoog	19,6	- 16,4	- 37,7	- 9,1	19,5
Geestmerambacht	99,7	+ 7,3	- 25,7	2,9	31,5
Oostzaan inclusief Twiske	-136,6	- 49,9	- 49,8	- 21,2	7,4
Purmer	52,1	98,2	35,6	64,2	92,8
Heerhugowaard incl. Veenhuizen	41,5	47,4	15,8	44,4	73,0
Schermeer	57,4	107,8	68,2	96,8	125,4
Slikvenpolder	-158,2	- 52,6	- 68,3	- 39,7	- 11,1
Wijde Wormer	125,4	130,7	85,8	114,4	143,0
Anna Paulowna polder	81,6	36,8	6,2	34,8	63,4
Drieban	- 57,4	19,3	1,0	29,6	58,2
Het Grootslag	70,5	36,1	4,5	33,1	61,7
Oosterpolder	- 56,2	- 9,8	- 28,3	0,3	28,9
Baarsdorpermeer	120,1	115,1	72,4	101,0	129,6
Wieringerwaard	108,5	22,1	- 8,2	20,4	49,0
Wieringermeer	418,9	412,6	329,3	357,9	386,5
Waterland	74,0	6,9	- 16,1	12,5	41,1

In fig. 20 is het verband weergegeven tussen de gemiddelde kwelwaarden uit de waterbalans en die uit het geohydrologisch onderzoek. De vergelijking van de lijn, eveneens berekend volgens de $\text{tg } 2 \phi$ methode, is:

$$\hat{u} = 0,838 x + 4,6 \text{ mm} \quad (10)$$

De berekende correlatie bedraagt 0,86. De toegenomen spreiding ($S = 53,4 \text{ mm}$) moet voor een deel worden toegeschreven aan het feit, dat met name in de polder Oostzaan, de neerslag op het stedelijk gebied en het oppervlaktewater dat door de industrie wordt onttrokken via de rioolwaterzuiveringsinstallatie Zaandam-Oost buiten het gebied wordt geloosd, terwijl in de Slikvenpolder na nader onderzoek is aangetoond dat een deel van het oppervlaktewater via duikers onder de rijksweg en de spoorbaan naar de Schagerwaard afstroomt. Aangezien elke informatie over de omvang van deze lozingen ontbreekt konden deze posten niet in de waterbalans worden verdisconteerd.

Niettemin blijkt uit de toetsing van de regressiecoëfficiënt, dat er een reëel verband is tussen de kwelwaarden uit het waterbalans en het geohydrologisch onderzoek. De 95%-betrouwbaarheidsintervallen, gegeven in tabel 9, geven aan hoe nauwkeurig de kwelgemiddelden, genoteerd als \hat{u} zijn geschat.

De vraag kan nu worden gesteld hoe nauwkeurig de afvoeren zijn te schatten uitgaande van de in tabel 9 geschatte gemiddelden voor de kwel c.q. wegzijging. Het lijkt dan alleszins aanvaardbaar de uitgemaakte hoeveelheden water op te lossen uit de waterbalans na substitutie van de in tabel 9 gegeven waarden voor de (meest waarschijnlijke waarde van de) kwel c.q. wegzijging, volgens:

$$A = N - E + I + K + \text{HAW} + \text{IND} + G \quad \text{mm.j}^{-1} \quad (11)$$

Deze waarden werden rerelateerd aan de door DE WILDE (1980) berekende afvoeren. Het verband wordt getoond in fig. 16 en de vergelijking van de regressielijn is:

$$\hat{u} = 1,019 x - 15,2 \text{ mm} \quad (12)$$

Gelet op de grote onnauwkeurigheid waarmee de kwel c.q. wegzijging in enkele polders werd bepaald, is de optredende spreiding van 85,4 mm onvermijdelijk. Worden deze polders, met name Oostzaan, Drieban en de Slikvenpolder vanwege de diffuse afvoeren buiten beschouwing gelaten dan wordt een verband gevonden zoals die in fig. 22 wordt weergegeven. De regressievergelijking van de lijn is nu:

$$\hat{\mu} = 0,977 x + 38,97 \text{ mm} \quad (13)$$

De spreiding is 35,1 mm en is dus met $100\left(\frac{85,4-35,1}{85,4}\right) = 59\%$ verminderd, terwijl de correlatiecoëfficiënt is toegenomen van 0,952 tot 0,992. Dit betekent dat $100(0,992^2) = 98,4\%$ van de totale spreiding in de afvoer door deze regressie is verklaard.

In tabel 10 staan de schattingen van de afvoer berekend met behulp van vergelijking 13, alsmede de afvoeren welke door DE WILDE (1980) zijn berekend en uit de waterbalans bepaalde afvoeren na invoering van de beste schattingen voor de kwel en wegzijging. Het geven van de onder- en bovengrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval voor de afvoeren lijkt verantwoord, gezien het feit dat duidelijk is aangetoond dat de afvoeren van de drie bovengenoemde polders zijn onderschat. Uit tabel 10 kan worden afgeleid in welke orde van grootte de hoeveelheden water zijn die via een andere weg dan het poldergemaal uit het gebied verdwijnen. Deze liggen in de orde van 155 l.s^{-1} , 84 l.s^{-1} en 9 l.s^{-1} voor respectievelijk de polders Oostzaan, Drieban en Slikvenpolder

Tabel 10. Afvoeren afgeleid uit de waterbalans en berekend door De Wilde.

Tevens worden vermeld de onder- en bovengrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval rond de geschatte waarde ($\hat{\mu}$) in mm.j

PLD/WS	A mm.j ⁻¹ waterbalans	A mm.j ⁻¹ enquête	Ondergrens	$\hat{\mu}$	Bovengrens
Beetskoog	247,1	286,0	259,1	280,5	301,9
Geestmerambacht	427,2	505,0	435,1	456,5	477,9
Oostzaan inclusief Twiske	509,1	318,0	460,5	481,9	503,3
Purmer	554,3	575,0	559,3	580,7	602,1
Heerhugowaard incl. Veenhuizen	626,3	620,0	629,7	651,1	672,5
Schermer	610,5	614,0	614,2	635,6	657,0
Slikvenpolder	321,6	192,0	268,7	290,1	311,5
Wijde Wormer	460,9	443,0	468,0	489,4	510,8
Anna Paulowna	340,9	381,0	350,8	372,2	393,6
Drieban	726,8	596,0	683,3	704,7	726,1
Grootslag	537,5	556,0	542,9	564,3	585,7
Oosterpolder	122,0	110,0	136,8	158,2	179,6
Baarsdorpmeer	1197,4	1200,0	1187,9	1209,3	1230,7
Wieringerwaard	254,1	290,0	265,9	287,3	308,7
Wieringermeer	671,3	735,0	673,4	695,1	716,5
Waterland	307,5	395,0	318,1	339,5	360,9

4. SAMENVATTING

Een van de aspecten in het onderzoek naar de waterhuishouding in Noord-Holland is de vaststelling van de mate waarmee het grondwater bijdraagt tot de belasting van het oppervlaktewater. Hiertoe werd voor een aantal polders in het gebied van Noord-Holland benoorden het IJ voor zowel het grond- als oppervlaktewater balansen doorgerekend met het doel inzicht te verkrijgen in de omvang van de kwel- dan wel wegzijgingsdebieten in het studiegebied. Tevens is onderzocht of de uitkomsten van beide balansmethoden vanuit statistisch oogpunt redelijk met elkaar overeenstemmen.

Voor de berekening van de kwel- en infiltratie-intensiteit, van de in tabellen 3 en 4 onderscheiden polders, is bij het geohydrologisch onderzoek uitgegaan van een waterbalansmodel, waarin de stromingsverandering van het grondwater in de watervoerende lagen (fig. 1) gelijk is aan de verticale opstijging of wegzijging van water in het afdekkend pakket, de grondwateronttrekking, de debieten van de gasbronnen in de bergingsverandering (verg. 1). De stromingsverandering d.i. hier het verschil tussen toe- en afstroming van het grondwater naar het beschouwd. gebied is het produkt van de doorlatendheid (kD) ter plaatse (fig. 3 t/m 5) en de gradiënt van de stijghoogte van het grondwater. Daar voor elke watervoerende laag de twee opeenvolgende equipotentiaallijnen, die de polder begrenzen op te delen in vierkantjes (fig. 6 t/m 8) kan de toe- of afstroming van elk vierkantje worden bepaald, waarna door sommering de stromingsverandering van de gehele polder kan worden vastgesteld (fig. 10 en 11). De bijdrage van de andere bronnen zoals grondwateronttrekking door de industrie en de debieten van de gasbronnen zijn ontleend aan respectievelijk JANSEN en WIJNSMA (1981); TOUSSAINT en BOOGAARD (1978), terwijl de bergingsverandering kan worden verwaarloosd. Kwel of wegzijging werd ten slotte berekend als de sluitpost op de waterbalans. De uitkomsten van dit onderzoek zijn vermeld in de tabellen 2 en 9 en in fig. 11.

Met betrekking tot de waterbalans van het oppervlaktewater werd de kwel of wegzijging - evenals bij het geohydrologisch onderzoek - als restterm berekend, waarbij enerzijds gebruik werd gemaakt van de samenhang tussen de neerslagoverschotten en door de gemalen uitgeslagen

water in de periode april 1968 tot en met maart 1979 (verg. 7; fig. 13 t/m 18), anderzijds uit de waterbalans op jaarbasis (verg. 6; tabel 8). Hierbij is uitgegaan van een evenwichtssituatie die geacht wordt ieder jaar op 1 april op te treden. De in de polderbalansen ingevoerde gegevens betreffende de ingelaten hoeveelheden water en door de gemalen op de boezem geloosde polderwater zijn respectievelijk ontleend aan HUMBERT e.a. (1980) en DE WILDE (1980), terwijl voor de neerslag gegevens zijn gebruikt van de nabij de polders gelegen neerslagstations van het KNMI (fig. 12; bijlage 2). De potentiële verdamping van begroeide oppervlakten is berekend uit de verdamping van open water met behulp van reductiefactoren waarbij rekening is gehouden met het bodemgebruik (verg. 8; tabellen 5 en 6 en bijlage 3). De bijdrage van de overige bronnen zoals huishoudelijk, recreatief en industrieel afvalwater is berekend of geschat op grond van informatie in de literatuur, jaarverslagen van het PWN en partiële bestrijdingsplannen.

De resultaten van de balansberekeningen staan vermeld in tabel 8. De optredende spreiding tussen beide methoden (fig. 19) geeft een indruk betreffende de nauwkeurigheid, waarmee de kwel c.q. wegzijging is bepaald. De nauwkeurigheid van de getallen is afhankelijk van een groot aantal factoren, waarvan de invloed van de afzonderlijke balansposten niet eenvoudig in cijfers is uit te drukken. Voor vergelijking met de uitkomsten van het geohydrologisch onderzoek is derhalve uitgegaan van de beste schattingen voor de waarden van de kwel c.q. wegzijging uit het waterbalansonderzoek van het oppervlaktewater (verg. 9). Deze waarden, genoteerd als \bar{k} waterbalans in tabel 9 wijken, behoudens een kleine kans 5%, niet meer dan 24,4 mm af van de werkelijke waarde. Uit de toetsing van de regressiecoëfficiënt in vergelijking 10 blijkt dat er een reëel verband bestaat tussen de kwelwaarden uit het waterbalans- en het geohydrologisch onderzoek, zodat met behulp van vergelijking 10 voor elke gewenste waarde van de kwel uit het geohydrologisch onderzoek de bijbehorende waarde van de kwel kunnen worden berekend. De werkelijke waarde zal met een kans van 95% door het betrouwbaarheidsgebied worden overdekt. In tabel 9 staan de uitkomsten van de berekeningen, genoteerd als $\hat{\mu}$, vermeld in tevens de onder- en bovengrens van het betrouwbaarheidsinterval. Eveneens is

onderzocht hoe nauwkeurig de afvoeren zijn te schatten uitgaande van in tabel 9 berekende waarden voor de kwel. Tabel 10 geeft te zamen met fig. 21 een indruk van de spreiding tussen de uit de waterbalans bepaalde afvoeren na invoering van de vaste schattingen voor de kwel en wegzijging en door De Wilde uit enquête berekende afvoeren. Uit fig. 21 blijkt dat voor drie polders de afvoeren systematisch te laag zijn berekend. Dit moet in hoofdzaak worden toegeschreven aan de niet-geregistreerde watertransporten die met name in Oostzaan, Drieban en de Slikvenpolder hebben plaatsgevonden. Worden deze polders buiten beschouwing gelaten dan neemt de spreiding met 59% af en wordt een verband gevonden zoals die in fig. 22 wordt weergegeven (verg. 13). Verder blijkt uit tabel 10 dat de afwijkingen tussen de afvoeren betrekkelijk goed binnen de spreidingzone van de 95%-grens liggen. De spreiding om regressie voorgesteld door de standaardafwijking van de individuele waarde bedraagt 35,1 mm. Uit toetsing blijkt dat de gemiddelden van de beide afvoeren niet significant verschillen zodat resumerend kan worden geconcludeerd dat de kwel- en wegzijgingsdebieten met voldoende nauwkeurigheid zijn bepaald.

LITERATUUR

- BREEUWER, J.B. en S. JELSMA, 1979. Geologie van de provincie Noord-Holland. Rapport RGD OP 7106.
- CENTRAAL BUREAU VOOR DE STATISTIEK, 1976. De bevolking der gemeenten in Nederland. CBS, 's-Gravenhage;
- COMMISSIE WATERVOORZIENING BENOORDEN HET NOORDZEEKANAAL, 1977. Interim rapport Waterbehoefte, 28 pp.
- HOOGHEEMRAADSCHAP VAN DE UITWATERENDE SLUIZEN VAN KENNEMERLAND EN WESTGRIESLAND, 1971 tot en met 1977. Jaarverslagen technische dienst.
- Partiële bestrijdingsplannen 1 tot en met 12.
- Rapporten technische dienst
- US in 1978. Cijfers en overzichten
- HUMBERT, H., H.J. MEIJER, J.G.S. DE WILDE en J.G. TE BEEST, 1980. Ingelaten hoeveelheden boezemwater in een aantal noordhollandse polders en droogmakerijen. Werkgroep Noord-Holland XXI, ICW-nota 1200.

- JANSEN, J.W. en M. WIJNSMA, 1981. Grondwateronttrekking ten behoeve van industrie, landbouw en drinkwatervoorziening in Noord-Holland benoorden het IJ, Werkgroep Noord-Holland XXVI, ICW-nota 1245.
- KONINKLIJK NEDERLANDS METEOROLOGISCH INSTITUUT, 1968 tot en met 1979. Hoeveelheden neerslag.
- 1968 tot en met 1979. Overzicht der weersgesteldheid in Nederland. KNMI.
- MEIJER, H.J., 1980. De methodiek van de debietmeting aan inlaatduikers in een aantal polders in Noord-Holland. Werkgroep Noord-Holland XIII, ICW-nota 1167.
- MINISTERIE VAN VERKEER EN WATERSTAAT, 1975. De bestrijding van de verontreiniging van het oppervlaktewater. Indicatief Meerjaren Programma 1975-1979, 's-Gravenhage 92 pp.
- MULDER, E.F.J., 1979. Samenstelling en verbreiding holocene afdekpakket in Noord-Holland. Rapport RGD 5302.
- PANKOW, J., 1980. Waterbalansonderzoek in vier polders in Noord-Holland. Werkgroep Noord-Holland XVI, ICW-nota 1204.
- POMPER, A.B., 1979. De geologische en geohydrologische opbouw van Noord-Holland benoorden het Noordzeekanaal. Werkgroep Noord-Holland VIII, ICW-nota 1135.
- PROVINCIAAL WATERLEIDINGBEDRIJF NOORD-HOLLAND, 1974 tot en met 1978. Jaarverslagen van het PWN, Bloemendaal.
- RIJKSINSTITUUT VOOR ZUIVERING AFVALWATER, 1968. Onderzoek naar het verontreinigend vermogen van huishoudelijk afvalwater. Mededeling nr 5, RIZA, Voorburg 24 pp.
- TOUSSAINT, C.G. en T. BOOGAARD, 1978. Chloride-, stikstof- en fosfaatbelasting van polderwater door gas- en kwelwaterbronnen. Werkgroep Noord-Holland II, ICW-nota 1061.
- WILDE, J.G.S. DE, 1979. Begrenzing, oppervlakte, afvoer en peilen van de polders in Noord-Holland ten noorden van het IJ en het Noordzeekanaal. Werkgroep Noord-Holland IX, ICW-nota 1160.
- WIT, K.E., 1974. Hydrologisch onderzoek in Midden-West-Nederland, ICW-nota 792.
- WITT, H., 1980. Het chloridegehalte van het grondwater in Noord-Holland benoorden het IJ het het Noordzeekanaal. Werkgroep Noord-Holland X, ICW-nota 1173.

- WIJNSMA, M., 1979. Verticale weerstand van het afdekkend pakket in Noord-Holland, Werkgroep Noord-Holland VII, ICW-nota 1162.
- , K.E. WIT en E. VAN REES VELLINGA, 1981. Isohypsen- en drukverschillenkaarten voor de voorkomende watervoerende en scheidende lagen in Noord-Holland benoorden het IJ. Werkgroep Noord-Holland XI, ICW-nota 1244.

Bijlage I.

Uitgeslagen hoeveelheden water in mmj^{-1} door de poldergemalen van de onderscheiden waterschappen in de periode april 1968 t/m maart 1979

Pld/WS	'68/'69	'69/'70	'70/'71	'71/'72	'72/'73	'73/'74	'74/'75	'75/'76	'76/'77	'77/'78	'78/'79
Beetskoog	419	479	309	158	263	403	438	152	281	343	296
Geestmerambacht	914	761	853	519	1017	973	791	611	468	505	517
Oostzaan incl. Twiske	539	453	321	354	393	465	488	205	238	318	379
Purmer	696	569	468	212	428	565	596	323	383	575	506
Hr. Hugowaard incl. Veenh.	758	627	589	460	527	812	686	528	481	620	608
Schermer	684	505	456	309	399	570	714	476	520	614	610
Slikvenpld.	372	151	132	63	171	164	264	140	159	275	192
Wijde Wormer	616	489	413	293	456	542	570	480	366	443	575
Anna Paulowna	534	403	370	225	316	399	590	375	367	381	409
Drieban	480	386	434	337	452	533	605	442	421	637	596
Grootslag	481	392	333	163	315	437	476	391	473	612	556
Oosterpolder	390	279	266	110	214	317	358	262	201	307	275
Baarsdorpmeer	1584	1215	1247	860	970	1471	1416	1062	958	1313	1200
Wieringerwaard	547	345	298	109	357	450	530	315	225	290	326
Wieringermeer	863	734	678	510	619	664	840	649	600	735	708
Waterland	740	651	630	388	534	733	736	358	395	554	559

Bijlage I

Bijlage 2.

Jaarsommen in mm van de neerslag voor de in het onderzoek betrokken waterschappen in de periode april 1968 t/m maart 1979

Waterschap	'68/'69	'69/'70	'70/'71	'71/'72	'72/'73	'73/'74	'74/'75	'75/'76	'76/'77	'77/'78	'78/'79	Neerslag stations
Beetskoog	869	739	674	566	699	861	911	615	619	788	690	W. Beenster, Hoorn
Geestmerambacht	1001	765	745	563	664	715	920	703	673	724	717	Bergen, Schagen
Oostzaan	861	813	757	534	698	875	956	615	590	764	728	Zaandam, Zaandijk, Schellingwoude
Purmer	845	786	679	554	698	846	908	577	602	772	761	Purmerend, Edam
Hr. Hugowaard	919	747	702	539	697	739	937	686	648	746	716	Heiloo, Schagen
Schermer	886	719	707	546	664	889	904	669	660	760	699	Heiloo, W. Beenster
Slikkenpolder	940	755	716	517	712	699	914	704	635	732	733	Schagen, Kolhorn
Wijde Wormer	854	814	697	549	708	852	903	595	572	744	730	Purmerend, Zaandijk
Anna Paulowna	897	720	708	530	642	645	905	681	608	683	675	De Kooy, Schagen Anna Paulowna
Drieban	882	777	720	525	734	810	846	584	553	787	683	Hoorn, Enkhuizen, Hoogkarspel
Grootslag	914	767	709	521	719	824	873	629	564	760	680	Hoorn, Enkhuizen, Medemblik, H. Karspel
Oosterpolder	897	775	707	550	712	840	868	582	561	780	697	Hoorn
Baarsdorpmeer	897	775	707	550	712	840	868	582	561	780	697	Hoorn
Wieringerwaard	892	719	671	503	683	705	891	656	577	682	666	Anna Paulowna, Kolhorn
Wieringermeer	861	745	700	506	691	834	899	664	559	735	669	Den Oever, Kreileroord, De Haukes, Medemblik
Waterland	852	779	749	534	672	828	928	573	594	787	740	Schellingwoude, Marken
Gemiddeld	892	762	709	537	694	803	902	632	599	752	705	
Gemiddelde jaarsom normaal distr. 4	743											

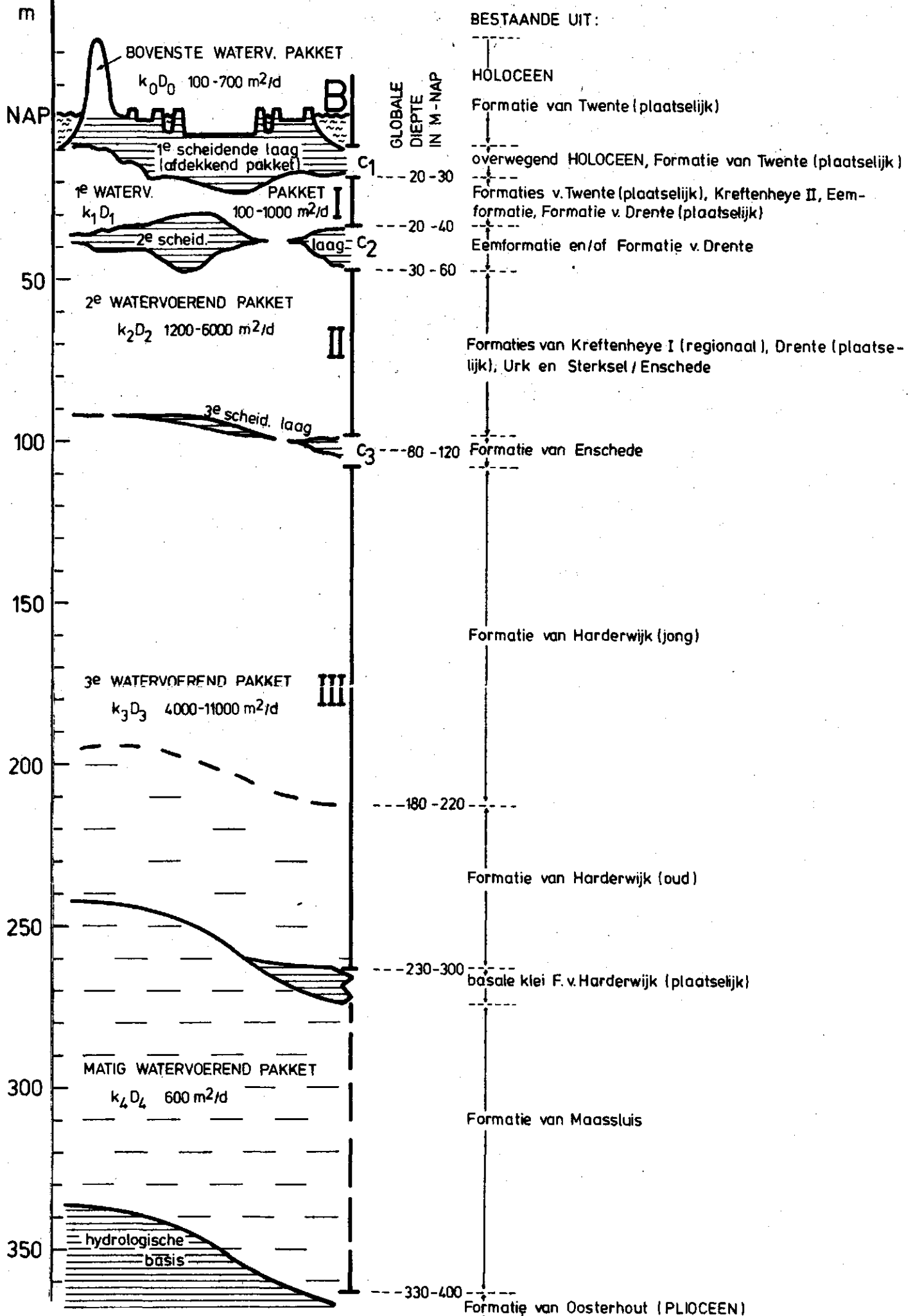
Potentiële verdamping mmj^{-1} berekend uit de gegevens van de KNMI stations Hoorn en Den Helder in de periode april 1968 t/m maart 1979 van de in het onderzoek betrokken waterschappen

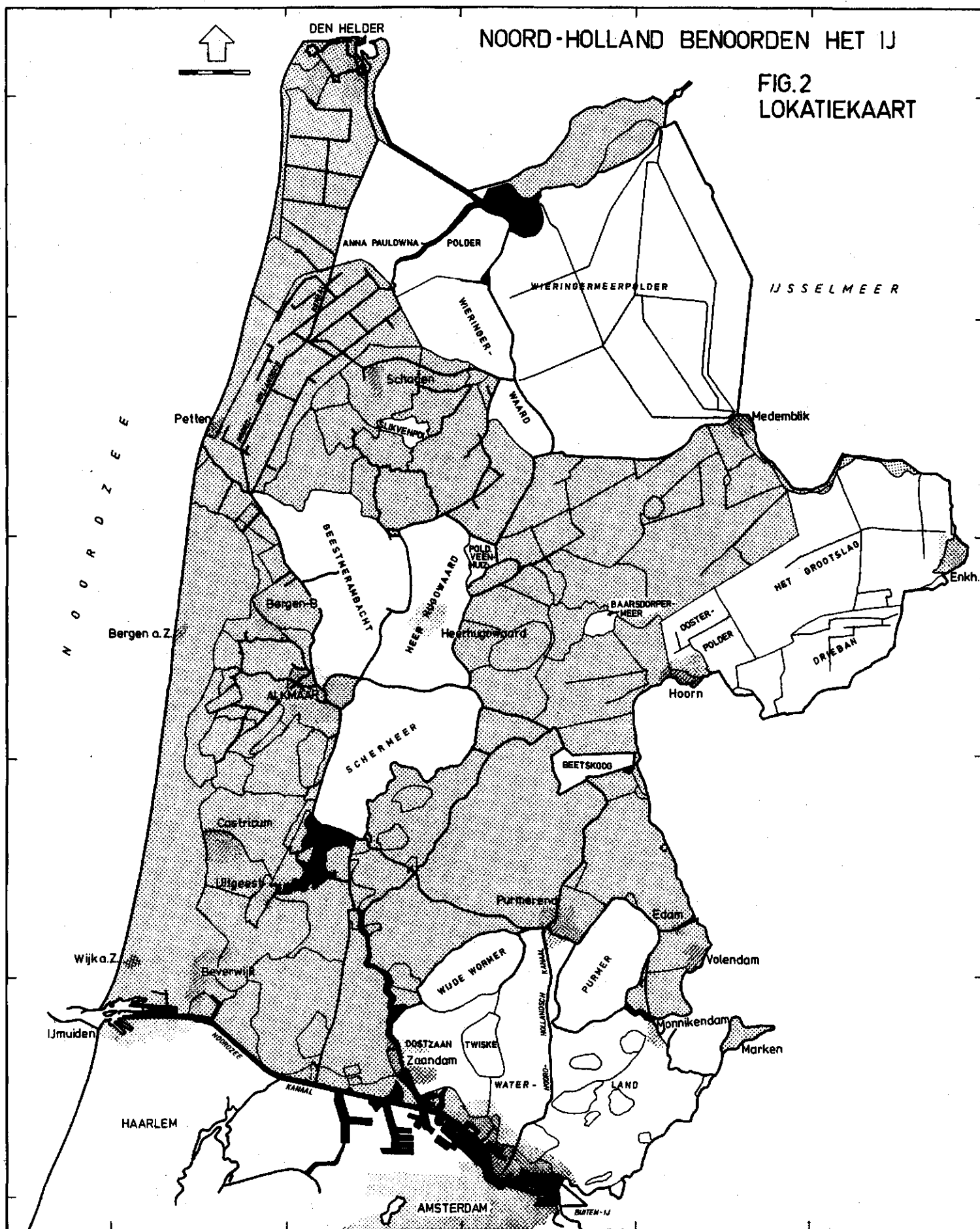
Waterschap	'68/'69	'69/'70	'70/'71	'71/'72	'72/'73	'73/'74	'74/'75	'75/'76	'76/'77	'77/'78	'78/'79
Beetskoog	520	563	589	565	535	572	577	609	627	528	506
Geestmerambacht	512	556	574	534	502	528	534	565	581	499	486
Oostzaan	551	597	624	599	567	607	612	646	665	560	536
Purmer	521	564	590	566	536	573	578	610	629	529	507 → 562
Hr. Hugowaard	517	561	580	559	507	533	539	570	586	504	492
Schermer	506	548	573	549	519	557	560	593	612	512	487
Sluikvenpolder	521	566	586	565	512	538	544	574	591	510	497
Wijde Wormer	522	565	591	567	537	574	579	611	629	530	508
Anna Paulowna	493	538	542	532	463	477	483	507	528	461	466
De Drieban	485	525	550	526	496	534	537	570	587	489	460
Grootslag	503	544	570	546	515	553	557	590	608	509	482
Oosterpolder	510	552	578	554	524	561	565	598	617	517	492
Baarsdorpermeer	528	571	598	574	543	581	586	618	636	537	514
Wieringerwaard	503	546	564	544	494	519	524	556	572	490	477
Wieringermeer	488	531	546	528	478	505	508	541	556	483	460
Waterland	531	575	601	577	546	584	589	622	641	540	517
Gemiddeld	513	556	579	557	517	550	555	586	604	512	493
Potentiële verdamping normaal	522										

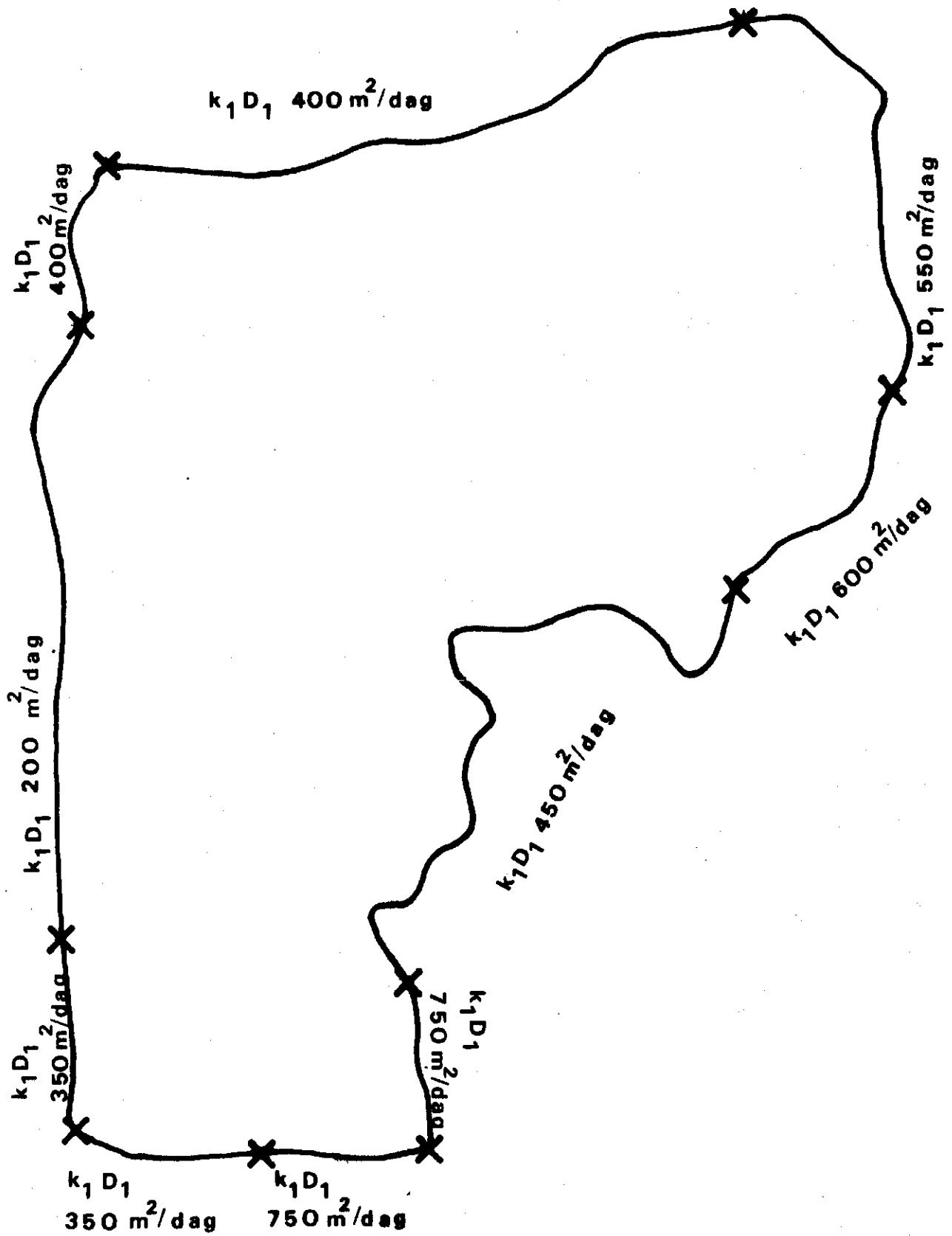
Neerslagoverschot mmj⁻¹ in de periode april 1968 t/m 1979

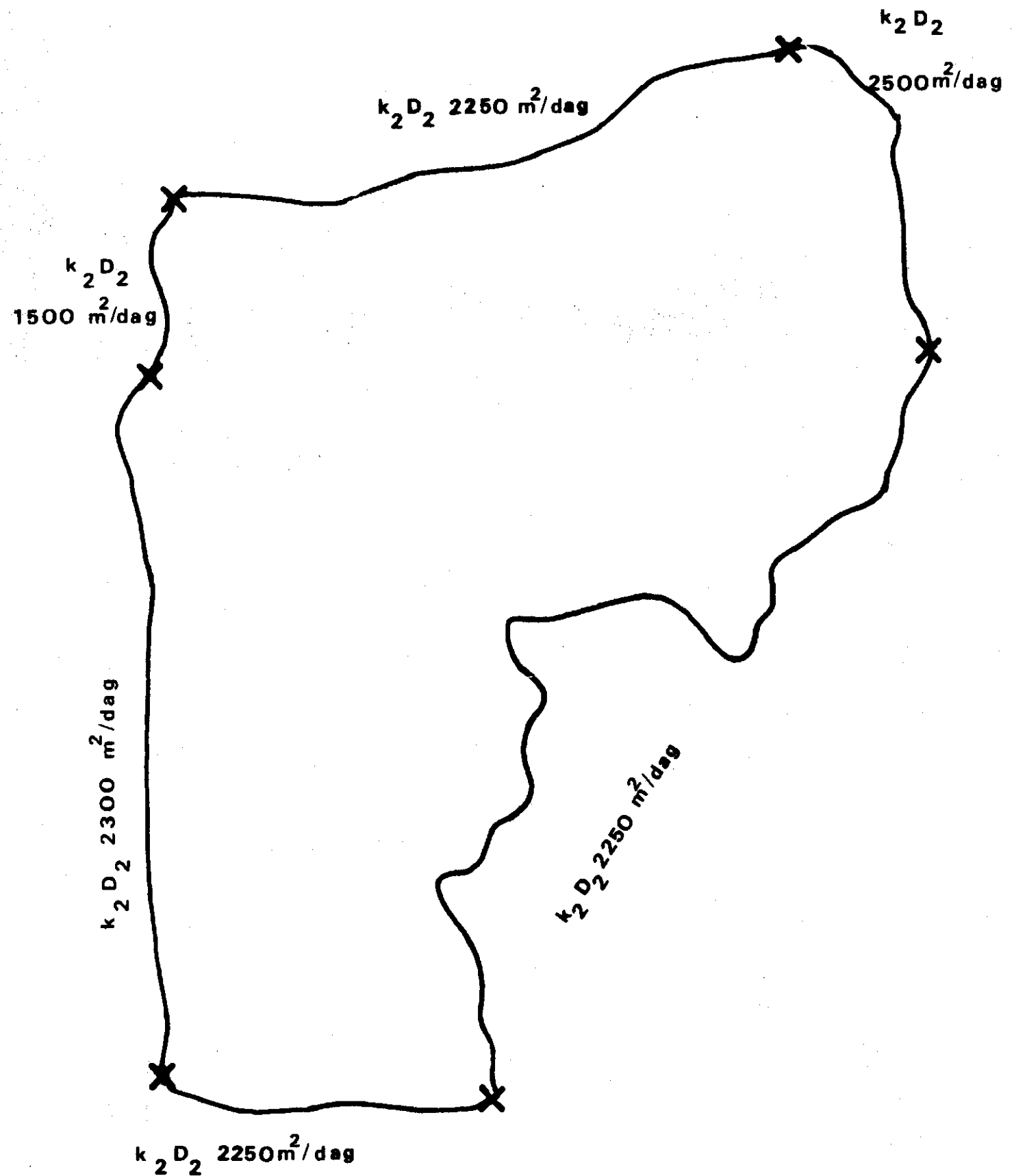
Waterschap	'68/'69	'69/'70	'70/'71	'71/'72	'72/'73	'73/'74	'74/'75	'75/'76	'76/'77	'77/'78	'78/'79
Beetskoog	349	176	85	0	164	289	335	6	- 8	260	184
Geestmerambacht	489	209	172	9	162	186	386	138	91	225	231
Oostzaan	310	217	133	- 66	131	269	344	- 31	- 74	204	191
Purmer	324	222	89	- 13	162	272	330	- 33	- 27	242	254
Hr. Hugowaard	403	186	122	- 20	189	206	397	117	62	241	224
Schermer	380	172	134	- 4	145	332	344	75	49	247	212
Slikkenpolder	418	189	130	- 48	200	162	370	129	44	222	236
Wijde Wormer	332	249	106	- 19	172	278	325	- 16	- 58	214	222
Anna Paulowna	404	182	165	- 2	179	218	422	174	80	222	209
De Drieban	397	252	170	- 1	238	276	310	14	- 34	297	224
Grootslag	411	222	140	- 25	204	271	317	39	- 44	251	198
Oosterpolder	387	223	129	- 5	188	279	303	- 16	- 56	263	205
Baarsdorpermeer	369	203	109	- 25	169	260	282	- 36	- 75	244	184
Wieringerwaard	388	173	106	- 41	190	185	366	100	6	192	188
Wieringermeer	372	214	153	- 22	213	329	391	123	3	252	208
Waterland	321	204	148	- 44	125	243	339	- 49	- 48	247	223

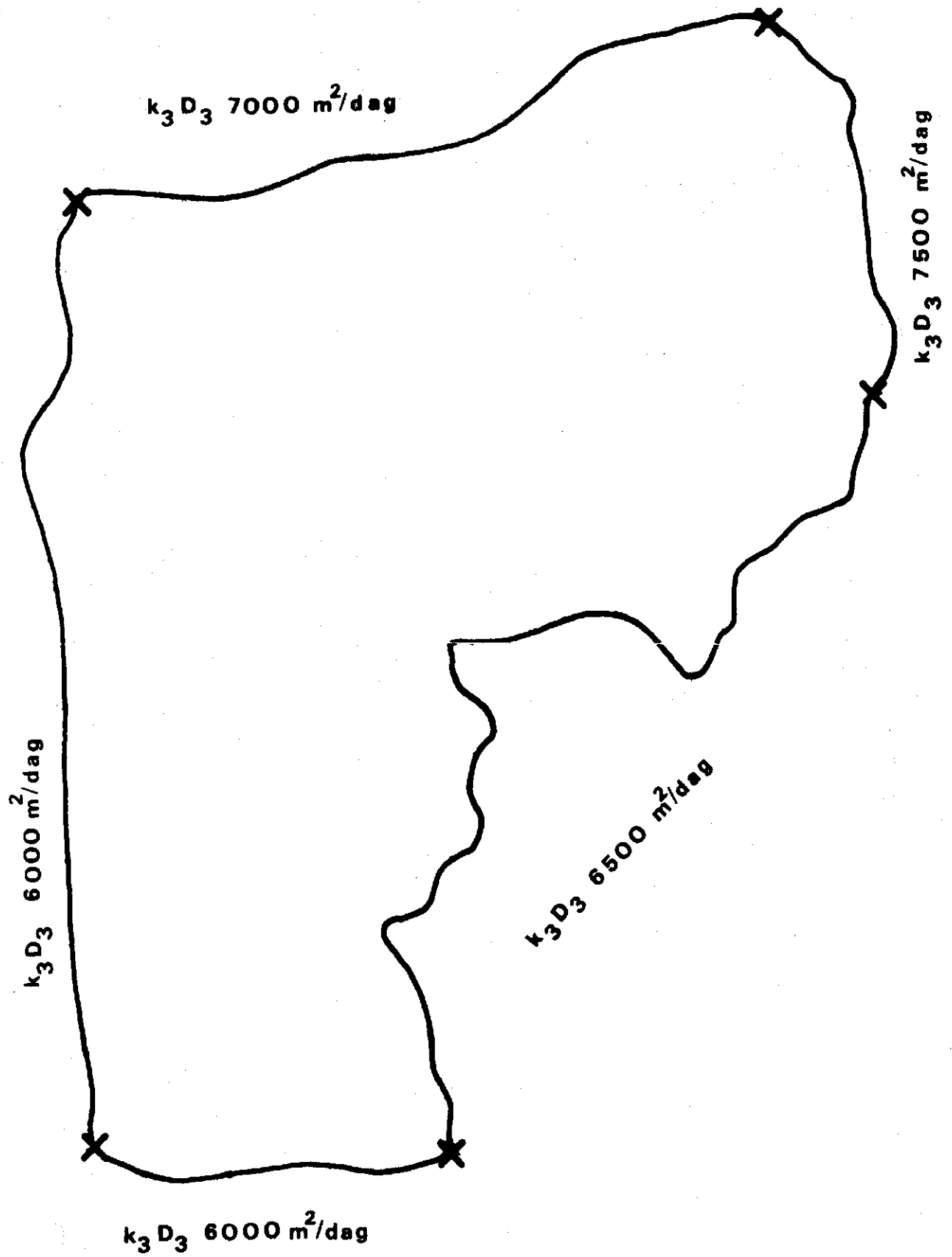
Geohydrologisch schema voor Noord-Holland benoorden het IJ. Fig 1

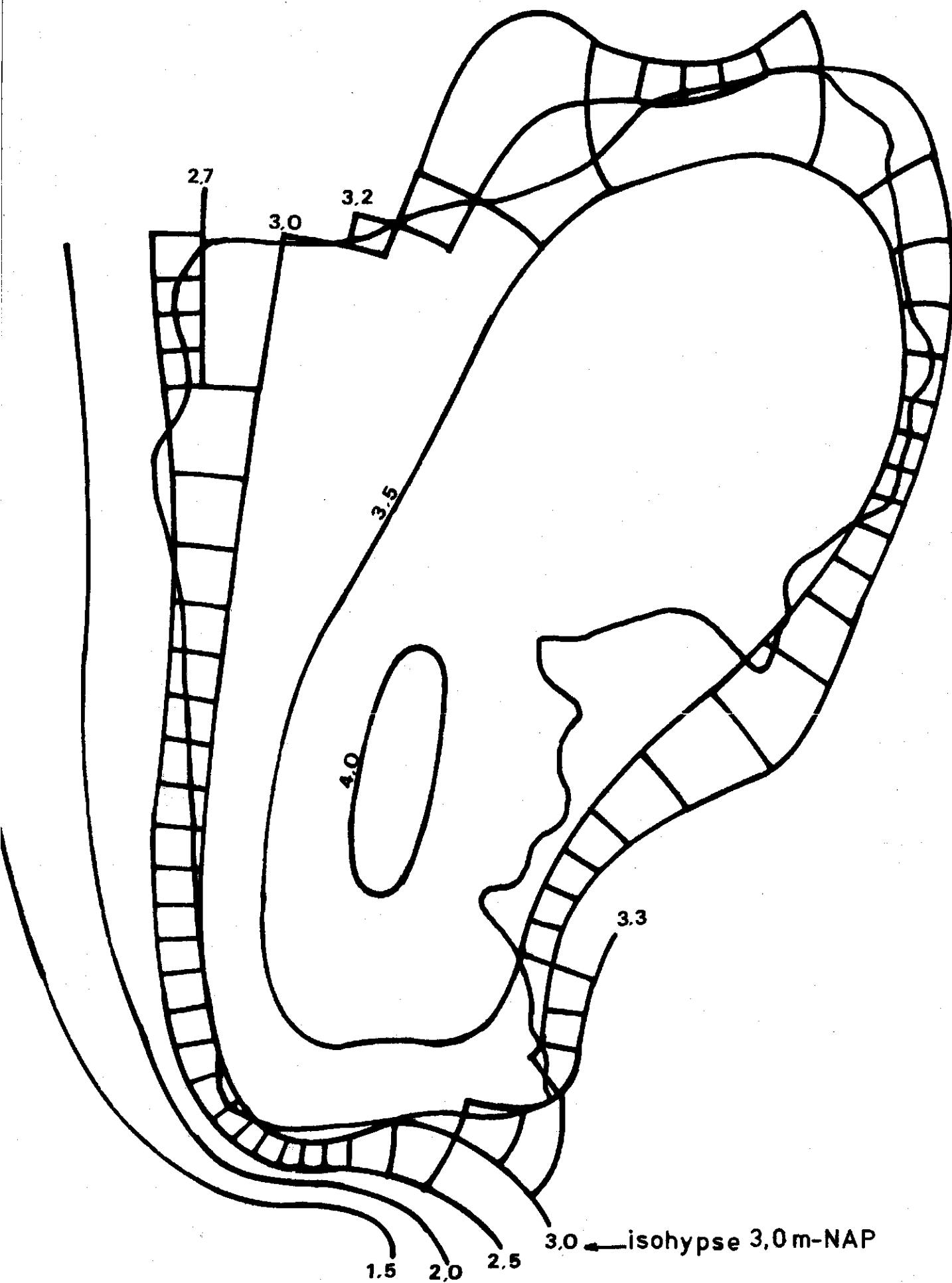






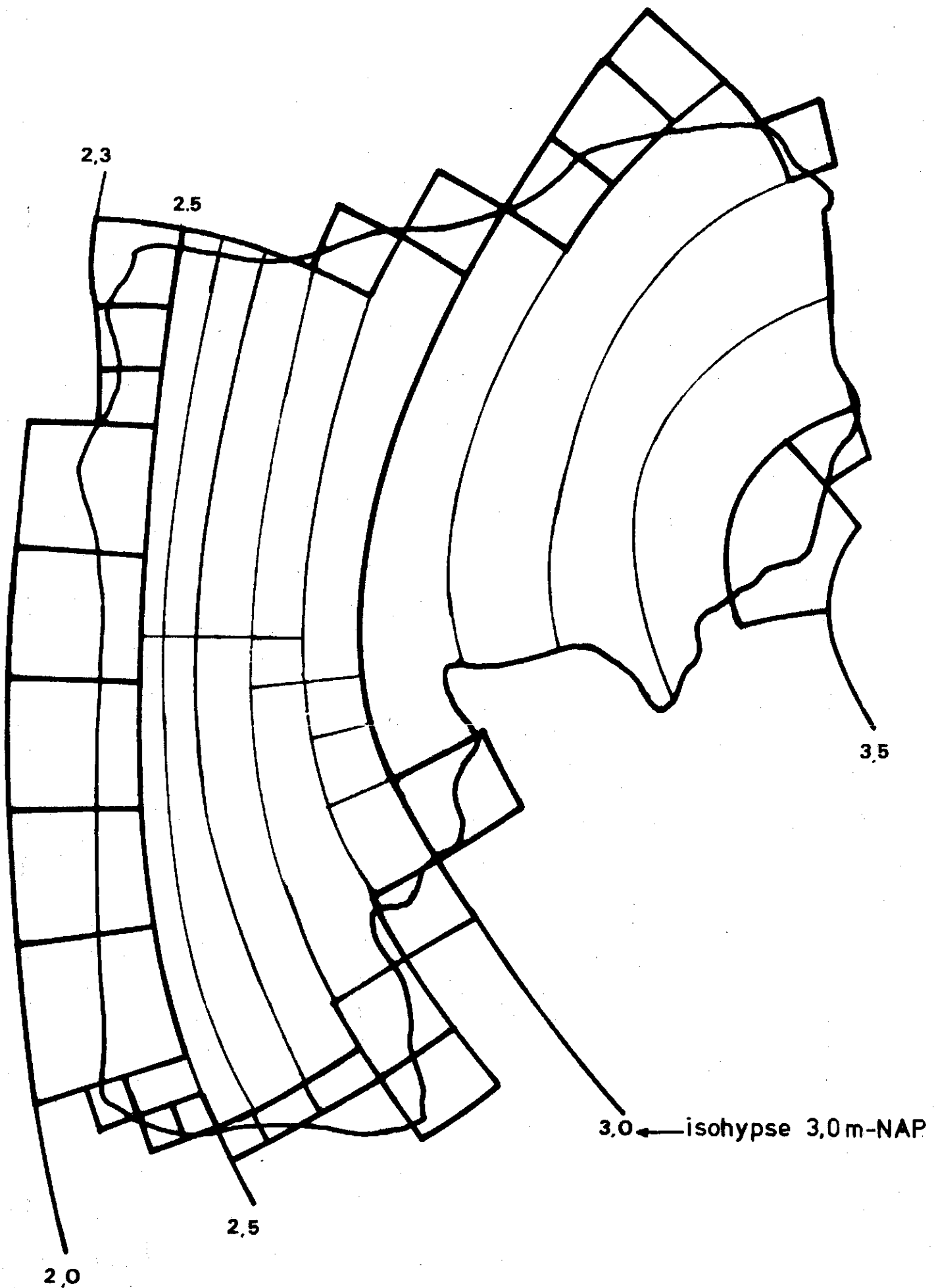


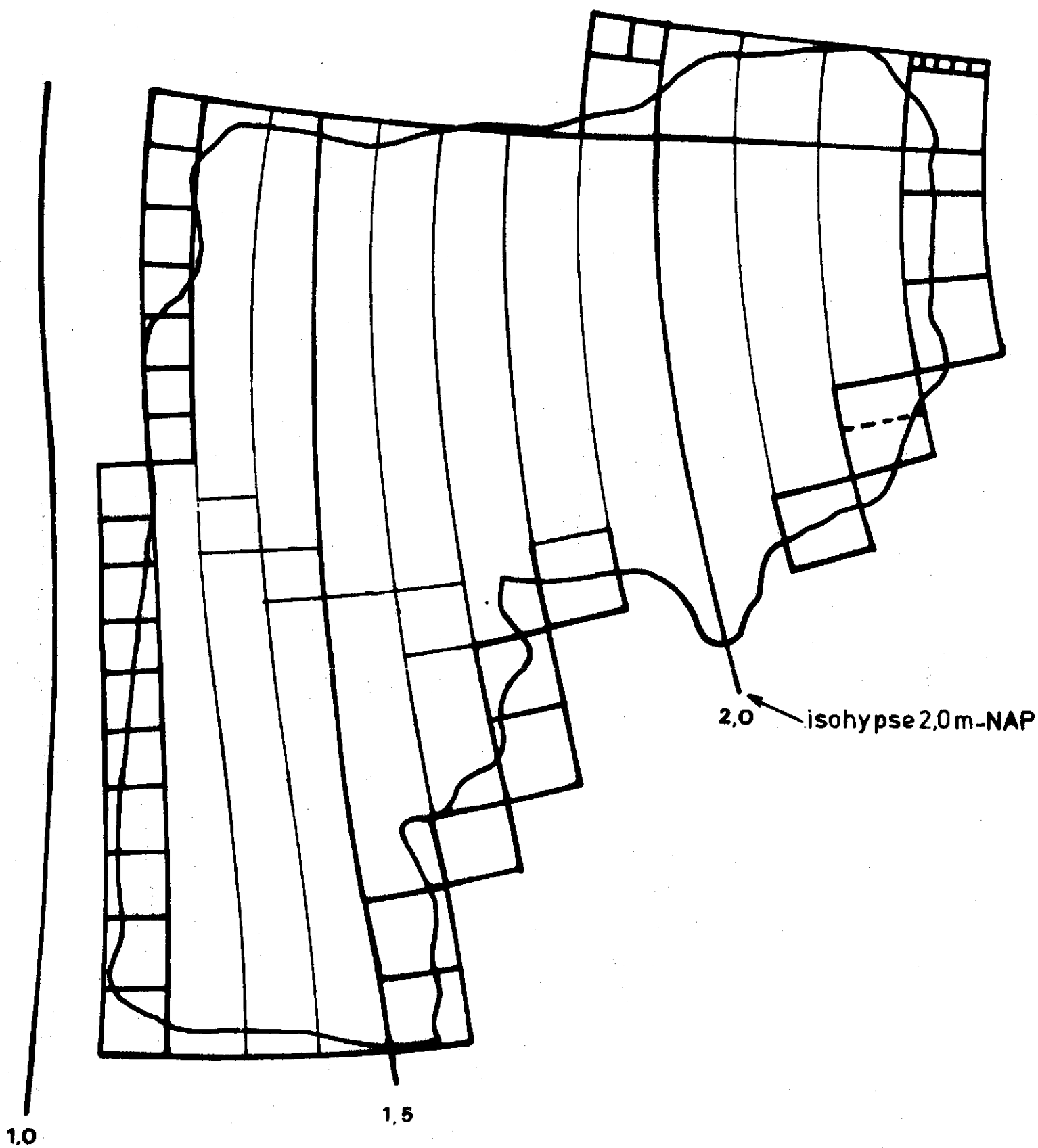




Isohypsenaart 2^e watervoerendelaag

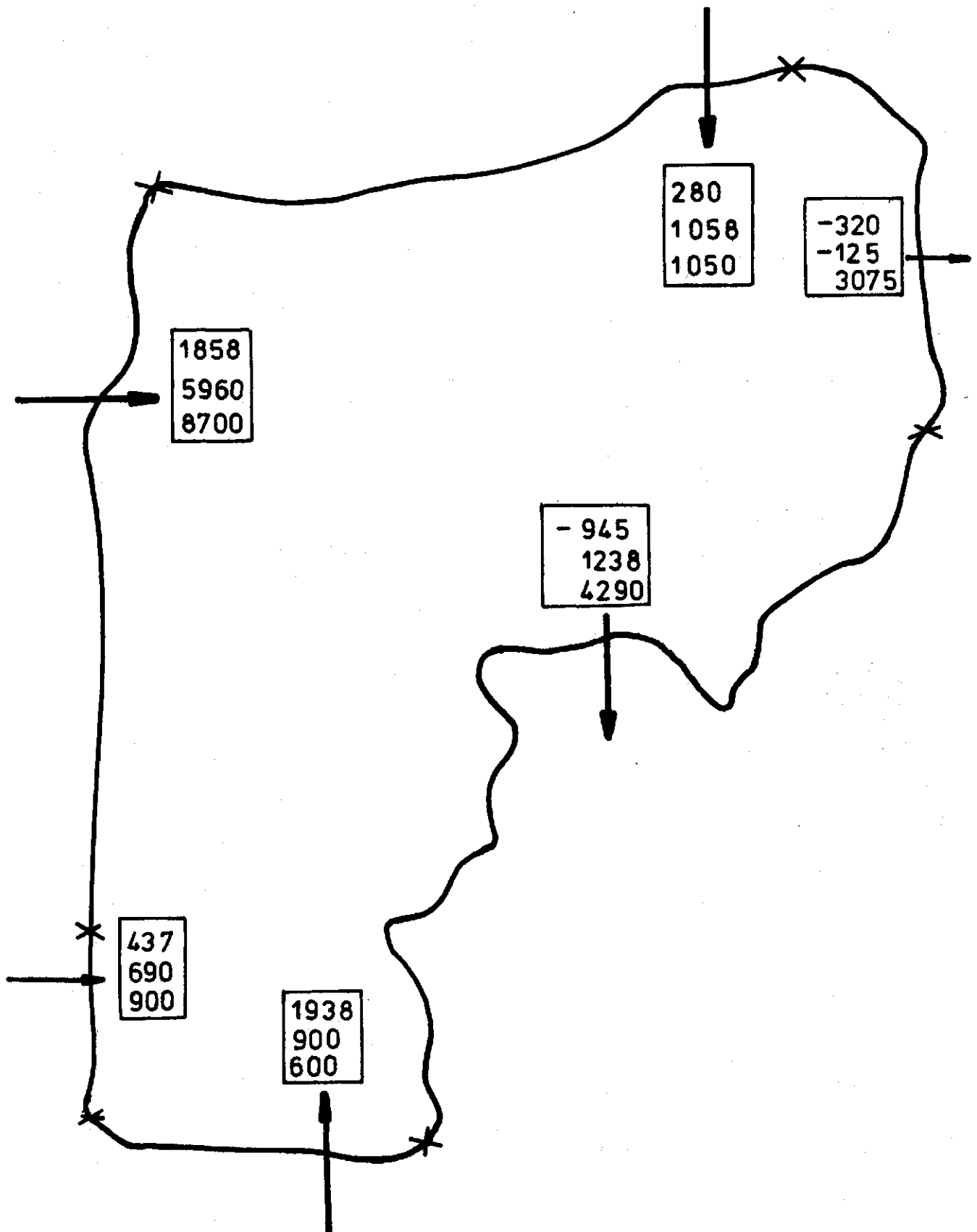
Fig 7

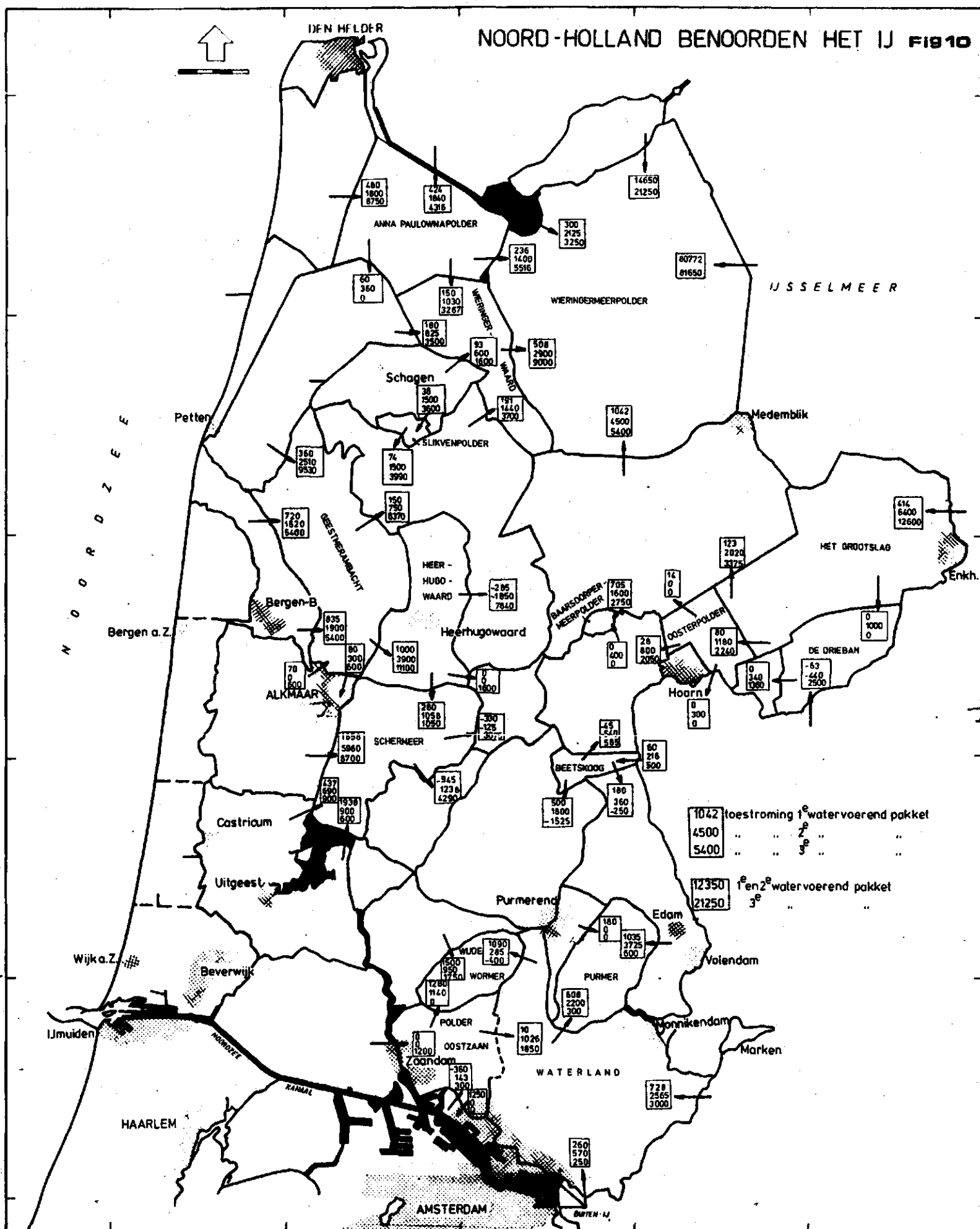




Ondergrondse toe-enafstroming in m³/dag

Fig 9





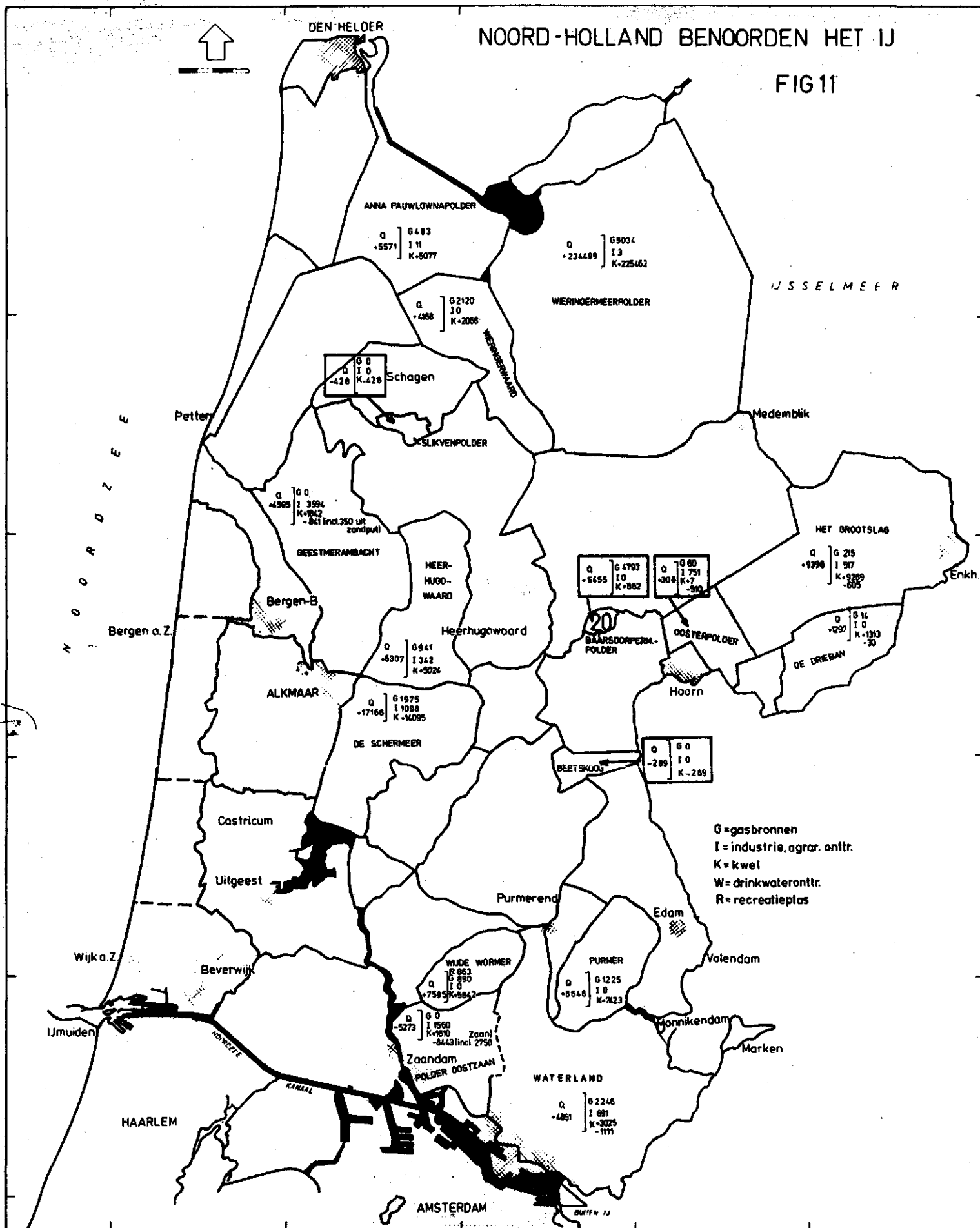


Fig12

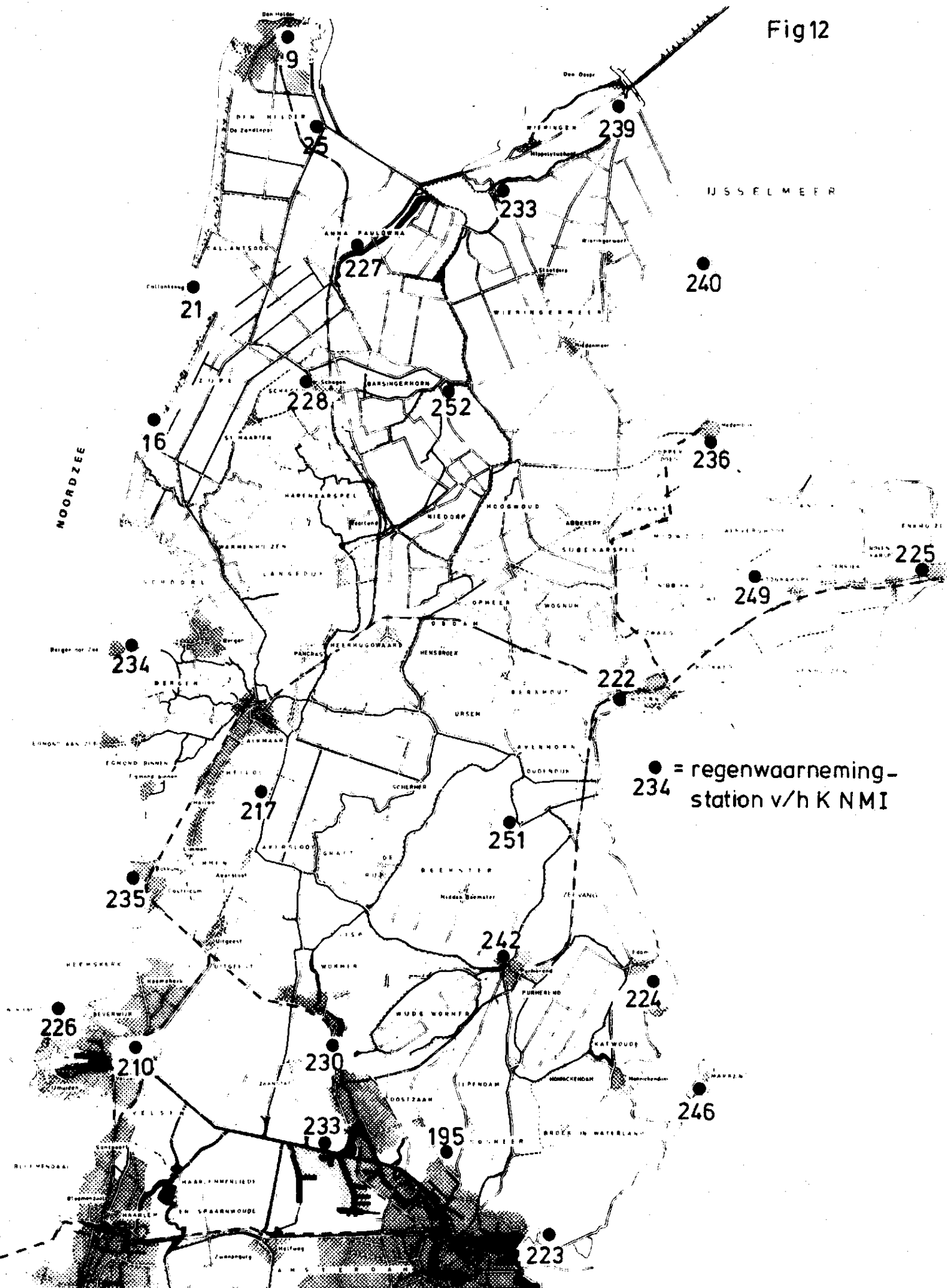


Fig 13 t/m18. Verband tussen het neerslag overschot en de afvoer in mm/j^{-1} in de periode april 1968 t/m maart 1979 voor de onderscheiden waterschappen. Het verband wordt gevormd door een rechte met een richtingscoëfficiënt = 1, terwijl het intercept de waarde geeft voor $K + I$.

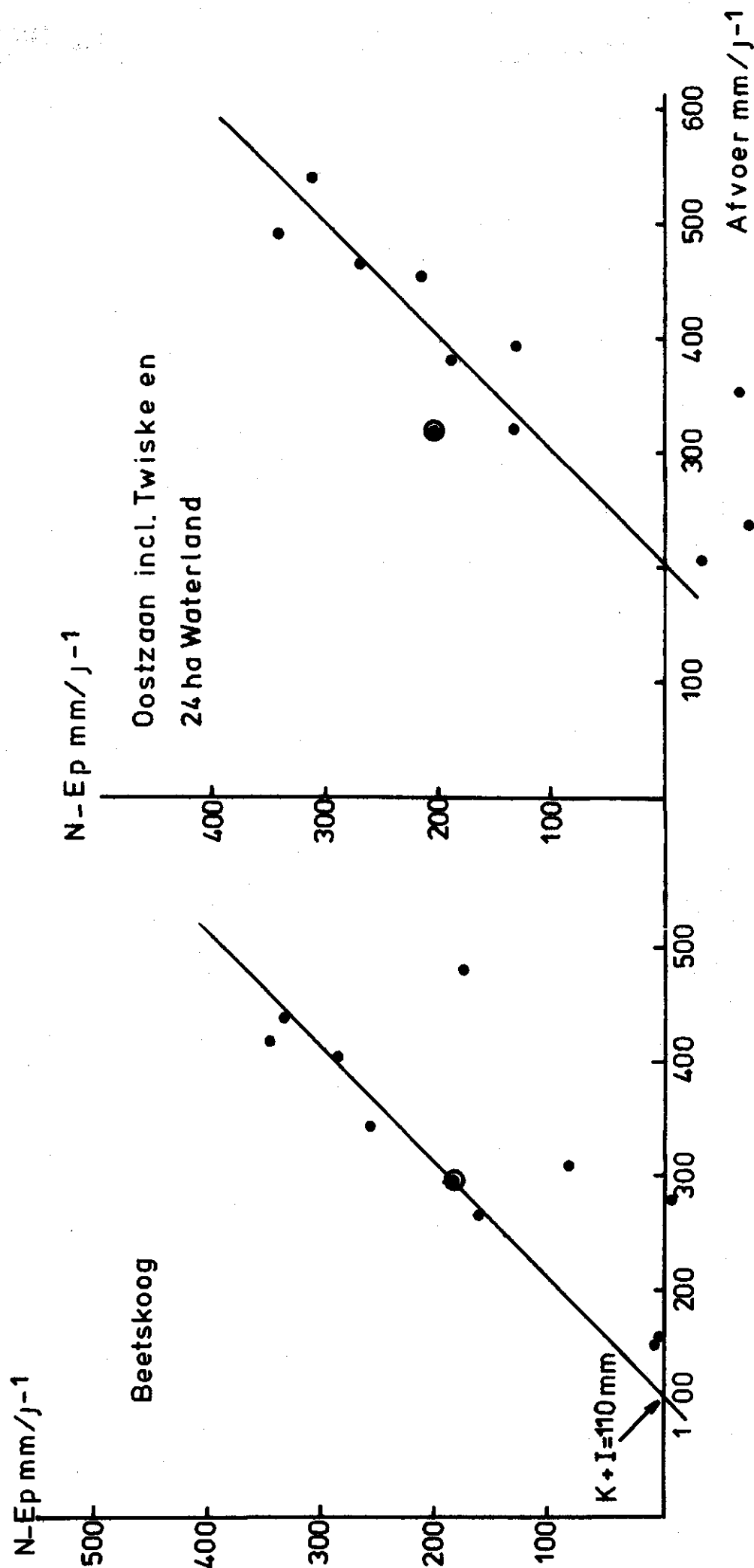


Fig 14

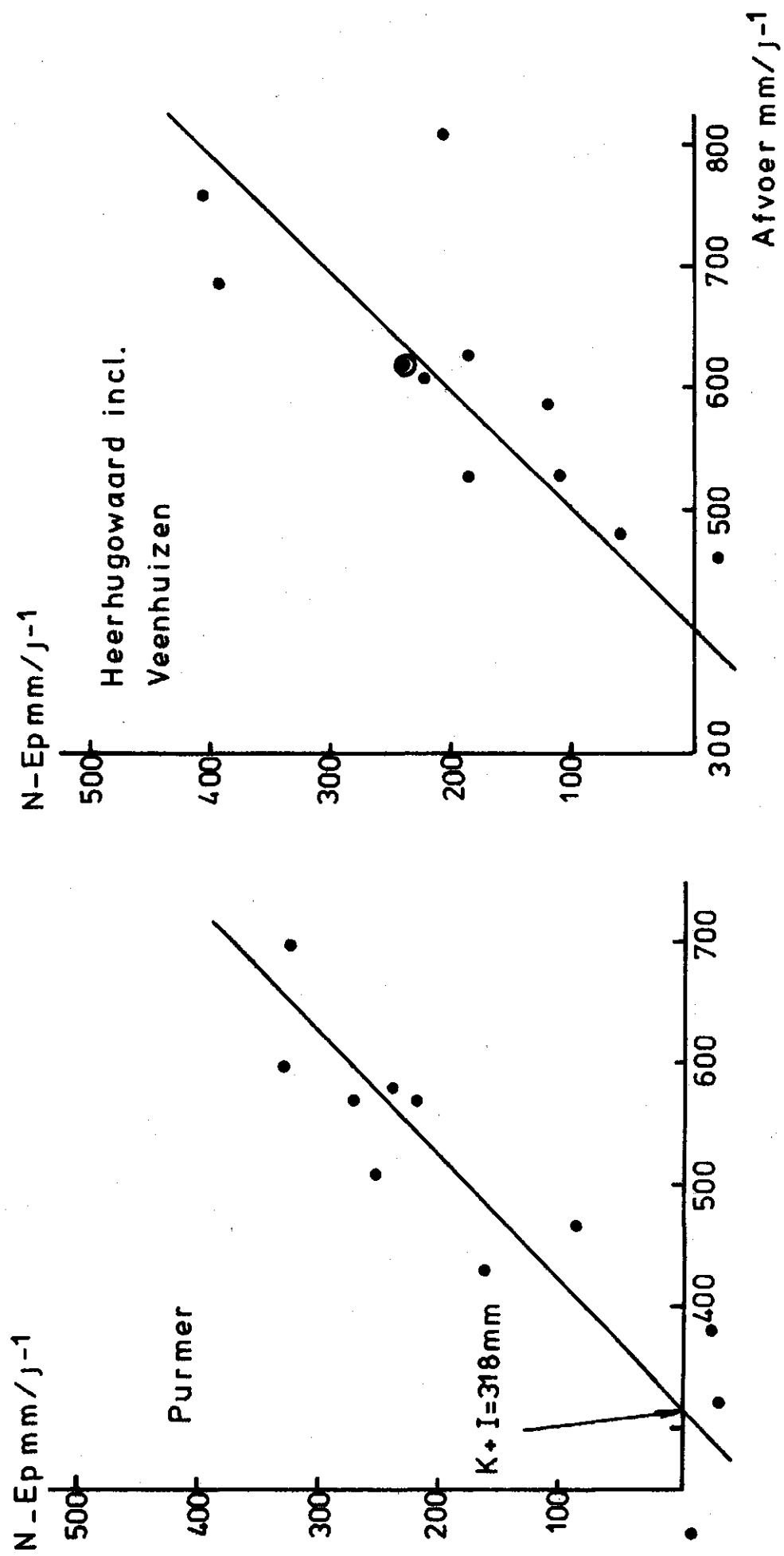


Fig 15

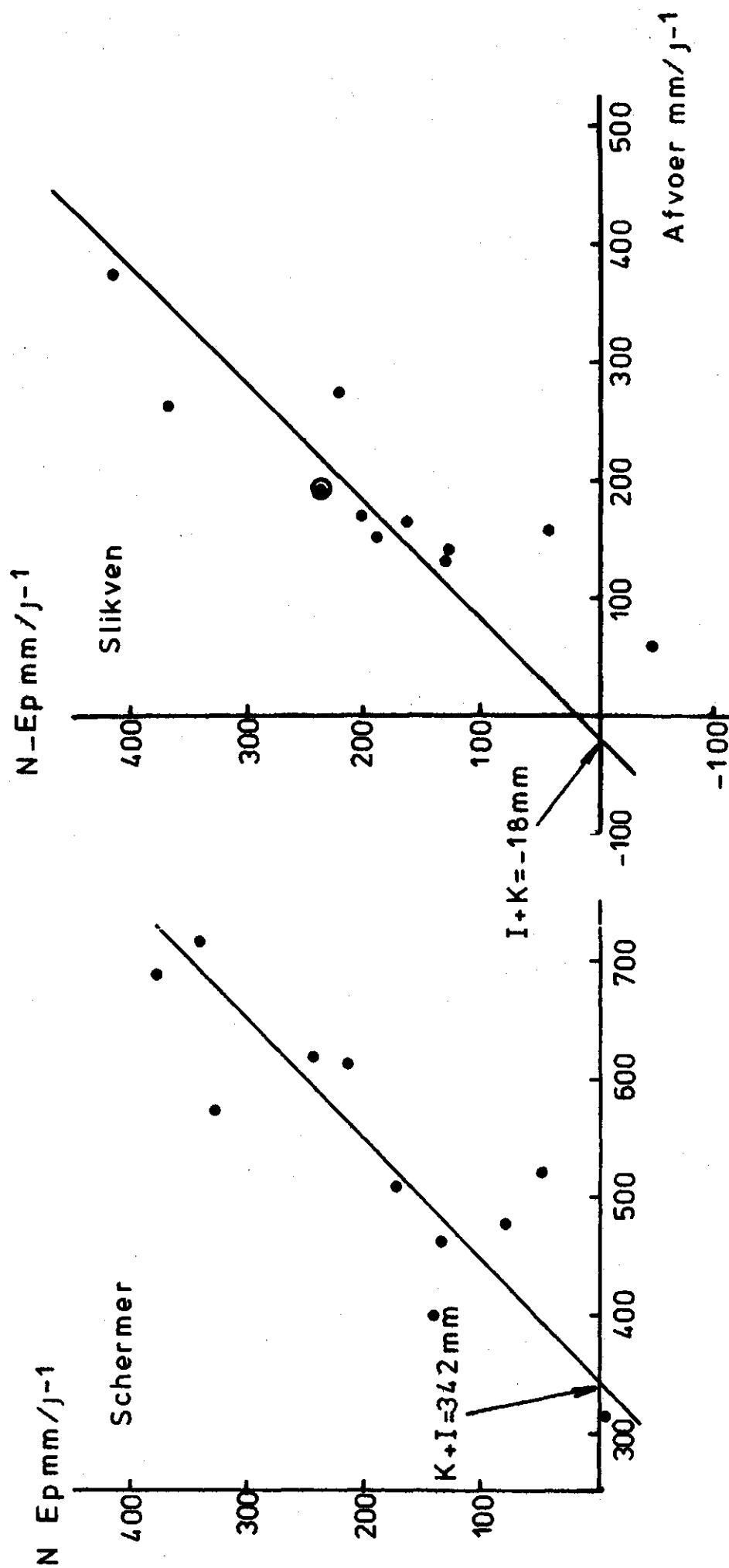


Fig 16

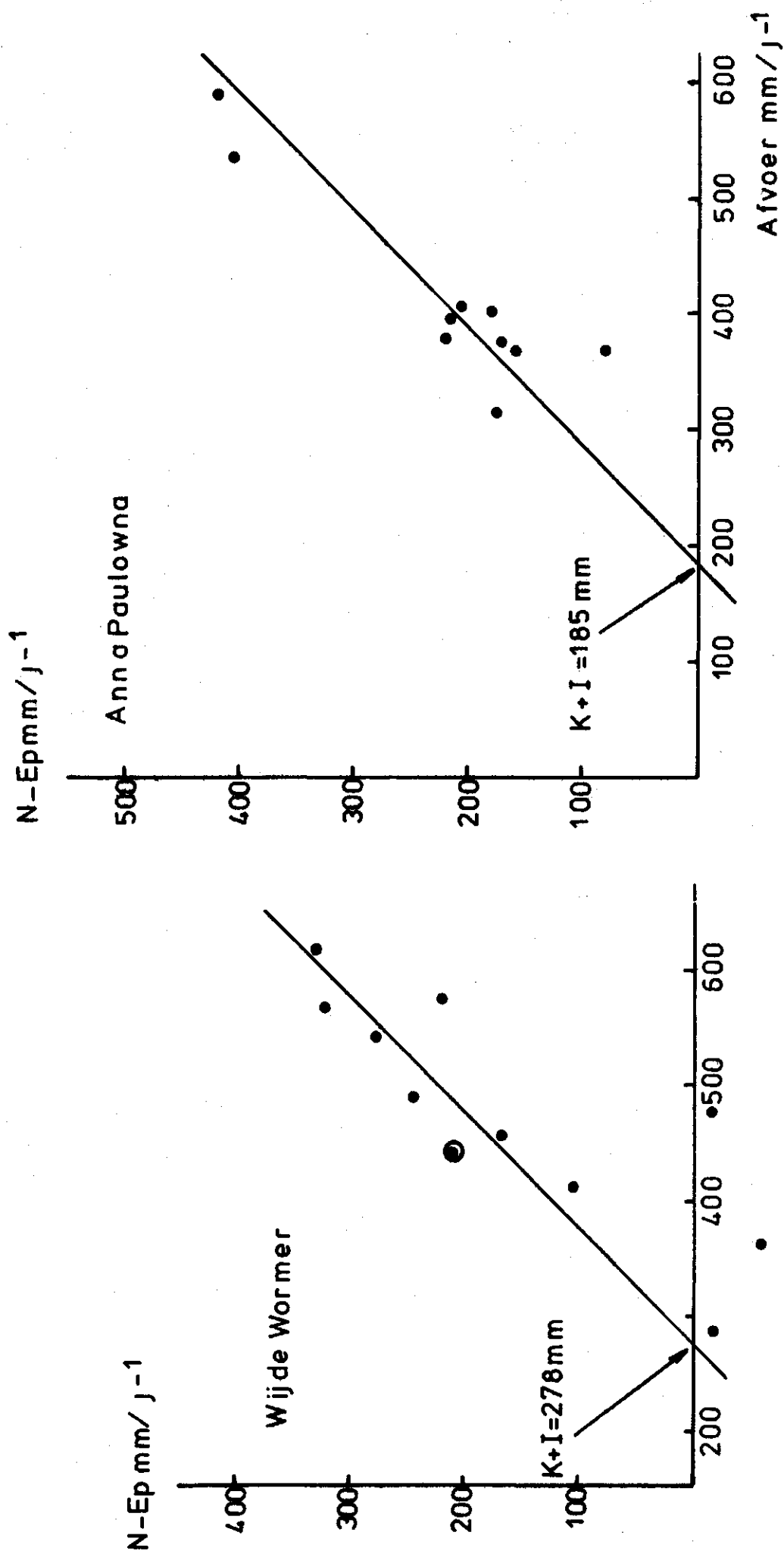


Fig 17

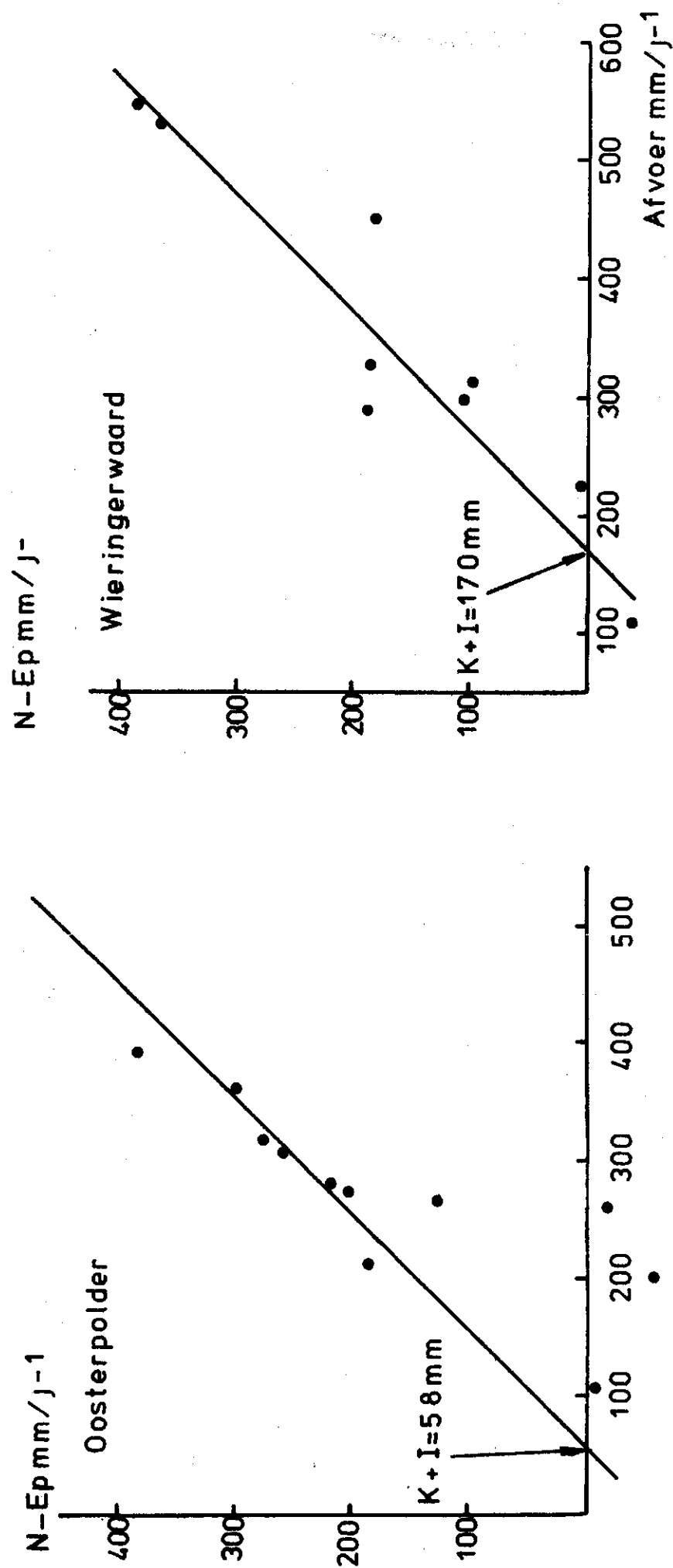
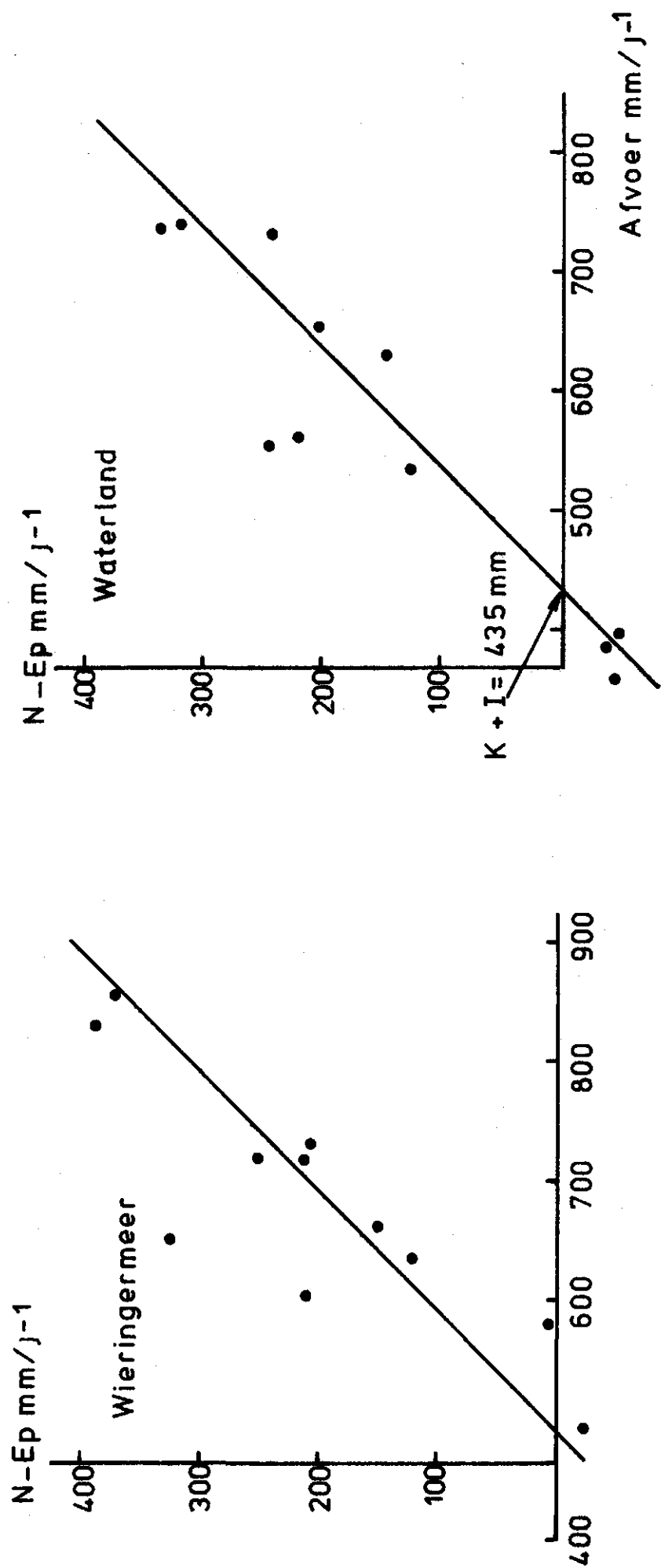
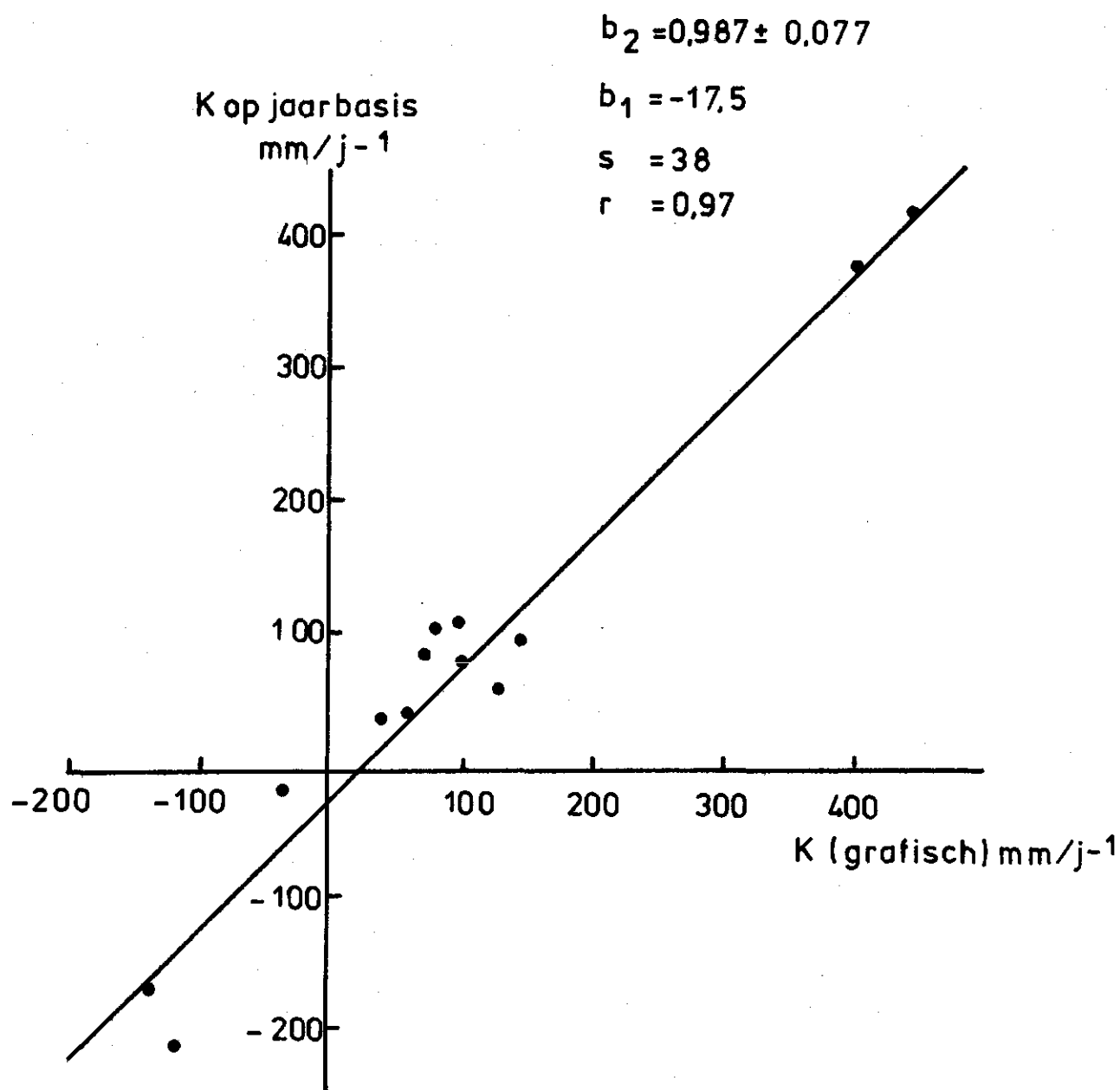


Fig 18

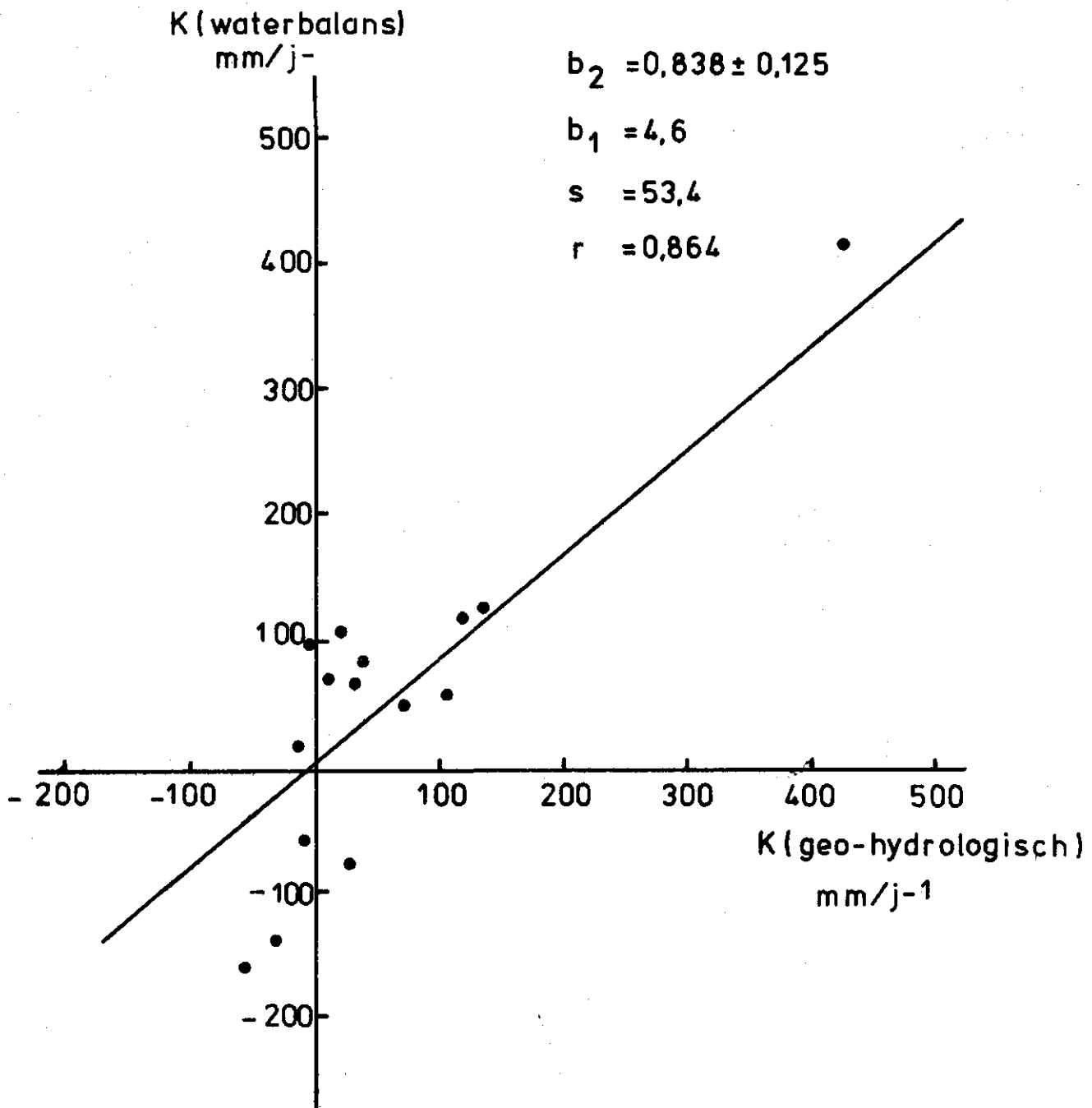


Verband tussen de kwelwaarden berekend uit de waterbalans op jaarbasis in mm en de grafisch bepaalde kwelwaarden.

Fig 19

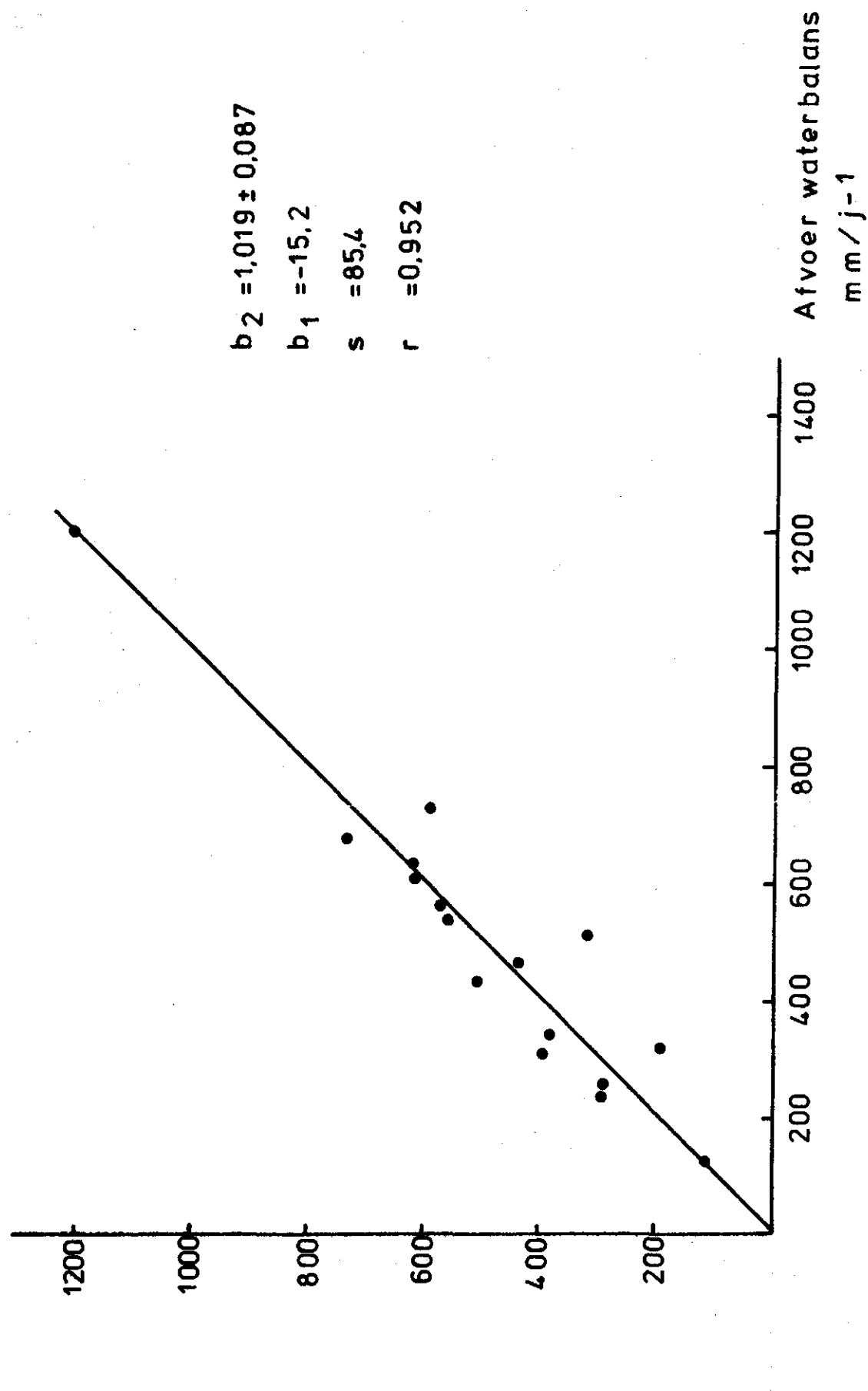


Verband tussen de gemiddelde kwelwaarden volgens Fig 20
de waterbalans en de kwelwaarden uit het geo-
hydrologisch onderzoek in mm/j^{-1}



Verband tussen de afvoer vlg de Wilde ende afvoer uit de waterbalans

Fig 21



Verband tussen de afvoer vlg de Wilde ende de afvoer uit de waterbalans Fig22
met uitzondering van de polders Oostzaan, Slikven en Drieban

